



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**DISEÑO, SUPERVISIÓN DE LA EJECUCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA
DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS GRISES MEDIANTE
BIOJARDINERAS EN LA CIUDAD DE SAN MARCOS**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Osmil Belarmino Guerrero Guerrero

Br. Francisco José Portobanco Alonso

Tutor

MSc. Ing. Mario Francisco Castellón Zelaya

Managua, Marzo 2016

AGRADECIMIENTOS

Vienen a mí mente muchas personas a quienes deseo agradecer la culminación de este trabajo que con mucho esfuerzo hemos logrado.

*Primeramente quiero agradecer a **DIOS**, que es quien permite que las oportunidades lleguen a nuestras vidas; quien nos dio la sabiduría y perseverancia para creer en que era posible, aun cuando el panorama se encontraba gris.*

*A mis **PADRES Y MI HERMANA**, por su apoyo emocional y económico a lo largo de éste proceso.*

*Al **Ing. MARIO CASTELLÓN**, quien en calidad de tutor, nos guió de manera eficiente y con una entereza admirable.*

*A la **ONG APRODIM** (Asociación pro desarrollo integral de los Municipios) por haber confiado en nosotros financiando la ejecución física de éste proyecto.*

Por Osmil Guerrero

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mi madre la Líc. MILAGROS GUERRERO y a mi padre el Sr. OSCAR GUERRERO, quienes durante todo este proceso de preparación profesional, hicieron propio éste sueño; dándome el aficiente necesario para poder llegar a la meta.

Por Osmíl Guerrero

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
III. JUSTIFICACIÓN	4
IV. ANTECEDENTES.....	6
V. MARCOS TEÓRICO	8
5.1 Caracterización de los efluentes domésticos y aguas grises	8
5.1.1 Efluentes Domésticos	8
5.1.2 Aguas grises.....	9
5.1.2.1 Parámetros físicos.....	11
5.1.2.2 Parámetros químicos	12
5.1.2.3 Parámetros Microbiológicos.....	13
5.2 Humedales artificiales.....	14
5.2.1 Definición y terminología	14
5.2.2 Desarrollo Histórico	15
5.2.3 Clasificación de los humedales artificiales	15
5.2.4 Rango de aplicaciones	17
5.3 Patógenos y su remoción en humedales artificiales.....	17
5.3.1 Mecanismos de Remoción de Contaminantes en Biojardinera	21
5.3.1.1 Materia en suspensión.....	21
5.3.1.2 Materia Orgánica	21
a) Degradación aeróbica.....	22
b) Degradación anaeróbica	22
c) Nitrógeno	23
d) Amonificación (mineralización).....	24
e) Nitrificación Biológica.....	24
f) Desnitrificación Biológica	25
g) Consumo de las plantas.....	25

h) Fósforo	26
5.3.1.3 Patógenos.....	26
VI. DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
6.1 Presentación y planificación	27
6.2 Localización.....	28
6.3 Descripción del Sistema de Tratamiento	32
6.4 Componentes del Sistema.....	33
6.5 Descripción del diseño de la Biojardinera.....	41
6.5.1 Parámetros de diseño.....	41
6.5.2 Cálculo de diseño y Validación de dimensiones	45
6.6 Ejecución Física de los sistemas (Construcción)	52
6.6.1 Concientización de la población para la implementación de los sistemas propuestos 52	
6.6.2 Costos y Presupuesto.....	53
6.6.3 Ejecución Física de las Unidades de Biojardineras	61
6.6.3.1 Situación sin proyecto.....	61
6.6.3.2 Etapa de construcción	63
6.7 Mantenimiento de la Biojardinera	71
6.8 Periodo de Estudio	72
6.8.1 Medición de pH y Temperatura	74
6.8.1.1 Potencial de Hidrógeno (pH)	75
6.8.1.2 Temperatura (°C).....	77
6.8.2 Medición de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	78
6.8.3 Medición de la demanda química de oxígeno (DQO).....	81
6.8.4 Medición de sólidos suspendidos totales (SST).....	83
6.8.5 Medición de Nitrógeno Total (N)	84
6.8.6 Medición de fósforo total (P).....	85
6.8.7 Medición de Potasio.....	86
6.8.8 Medición de Coliformes fecales	87
6.8.9 Medición de Oxígeno Disuelto.....	89
VII. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	91
7.1 Diseño de Biojardineras	91
7.2 Estudios de Laboratorio.....	93

7.3	Potencial de Hidrógeno (pH)	95
7.4	Temperatura	97
7.5	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	98
7.6	Demanda Química de oxígeno (DQO)	100
7.7	Sólidos Suspendidos Totales	102
7.8	Nitrógeno Total	104
7.9	Fósforo Total	106
7.10	Potasio	108
7.11	Coliformes Fecales.....	109
7.12	Oxígeno Disuelto	110
7.13	Otros parámetros de calidad	111
VIII.	CONCLUSIONES	113
IX.	RECOMENDACIONES	116
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	118
XI.	ANEXOS	120
11.1	ANEXO 01: PLANTA DE CONJUNTO Y SECCIÓN PERFIL DEL SISTEMA	121
11.2	ANEXO 02: ENCUESTAS REALIZADAS.....	123
11.3	ANEXO 03: TABLA DE RANGOS Y LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES, PROMEDIO DIARIOS SEGÚN EL ARTÍCULO 57 - DECRETO 33-95.....	129
11.4	ANEXO 04 CERTIFICADOS DE ENSAYOS, PIENSA.....	130
11.5	ANEXO 05: BROUCHURE TECNO-UNI	142
11.6	ANEXO 06: FOTOGRAFÍAS DE LA PROBLEMÁTICA EN CUESTIÓN	144
11.7	ANEXO 07: PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN DE FOSA SÉPTICA.....	145
11.8	ANEXO 08: MATRICES DE ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	146
11.9	ANEXO 09: MANUAL TÉCNICO DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BIOJARDINERAS.	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01.	DBO Y DQO según fuentes de aguas residuales grises.....	12
Tabla 02.	Concentraciones típicas de Microorganismos y patógenos en aguas residuales crudas y domésticas.....	18
Tabla 03.	Reducción de Microorganismos según el proceso de tratamiento (por Logaritmo OMS 2006, Vol. 2).....	20
Tabla 04.	Nomenclatura de Unidades Demostrativas.....	31
Tabla 05.	Dimensiones de Biojardineras.....	36
Tabla 06.	Distribución de Lecho filtrante de piedra bolón y piedra cuarta.....	37
Tabla 07.	Porosidad efectiva del sustrato, η	44
Tabla 08.	Parámetros considerados en el diseño de las Biojardineras.....	46
Tabla 09.	Dimensiones de diseño de Biojardineras.....	52
Tabla 10.	Presupuesto de Biojardineras a detalle.....	54-59
Tabla 11.	Resumen de Gastos Construcción y Evaluación de los Sistemas.....	60
Tabla 12.	Calendario de Muestreos.....	73
Tabla 13.	Dimensiones de diseño de Biojardineras.....	91
Tabla 14.	Valores obtenidos de parámetros en estudio.....	93
Tabla 15.	Análisis de Resultados según Decreto 33-95.....	94

I. INTRODUCCIÓN

Se llaman aguas grises a todas aquellas aguas residuales que provienen de los lavamanos, lavaderos, cocinas, pantry y duchas; y éstas en conjunto constituyen el 80% de las aguas salientes de una casa. Y debido a que los agentes contaminantes de estas aguas difieren con los de las aguas negras; no se recomienda que ambas compartan un solo sistema de recolección, transporte y tratamiento. Las aguas grises al ser mezcladas con las aguas de los inodoros acrecientan los niveles de contaminación del afluente de manera significativa; generando un proceso de tratamiento más complejo y más costoso debido a la gran cantidad de volumen a procesar.

Las aguas grises, contienen diversos contaminantes del tipo orgánico y del tipo nutrientes, que pueden presentar bacterias o elementos que con procedimientos sencillos pueden eliminarse o aminorarse y así, éstas aguas puedan recuperarse y reutilizarse. Sin embargo, si las aguas grises no son tratadas en forma adecuada para mejorar su calidad, se estará produciendo un impacto negativo al medio ambiente debido a emisiones de malos olores y focos para la posible transmisión de enfermedades.

Se denomina reciclaje o tratamiento para aguas grises a aquellos sistemas que permiten utilizar esta agua para usos en los que no es imprescindible el agua potable, tales como inodoros, riego, lavadoras o limpieza de suelos o vehículos. En la actualidad existe variedad de sistemas para el tratamiento de estas aguas, cuyo efluente es totalmente limpio e higiénico; sin embargo, en este tipo de tecnologías emergentes, el agua tratada no recibe legalmente el estatus de agua potable, pero puede ser utilizada para miles de usos cotidianos, lo cual representará en el futuro un ahorro sustancial en términos monetarios correspondiente al uso de agua potable al año.

Tomando en consideración todo lo antes mencionado, surge la iniciativa de este estudio, donde se concatenaron los criterios de diseño, cálculos y parámetros de calidad del agua; a fin de cumplir con las normativas del Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) y del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), para el uso de las aguas del efluente en actividades donde no

existen exigencias de potabilidad, por ejemplo, el riego. De esta manera se contribuye a la creación de un barrio más ecológico implementando sistemas amigables con el medio ambiente que generen grandes beneficios a la comunidad; este es el caso de los barrios 05 de Julio y Los Campos, del Municipio de San Marcos.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- ✓ Diseñar, construir y evaluar la eficiencia de un Sistema de Tratamiento para Aguas Grises mediante Biojardineras en el Municipio de San Marcos.

2.2 Objetivos específicos

1. Dimensionar tres unidades demostrativas de biojardineras para el tratamiento de aguas grises, en base a caudales de diseño individuales de los hogares propuestos.
2. Redactar un documento técnico de las especificaciones generales para la construcción, operación y mantenimiento de este tipo de tecnologías no convencionales.
3. Elaborar presupuesto de la ejecución física de las tres biojardineras.
4. Ejecutar físicamente el emplazamiento de los sistemas diseñados.
5. Establecer un análisis comparativo haciendo uso de tres especies distintas de plantas a fin de cuantificar la incidencia que tienen en el proceso de saneamiento de las aguas en base a los parámetros establecidos en el decreto 33-95.
6. Proponer una alternativa de solución a la problemática de disposición y saneamiento de las aguas grises en las zonas rurales donde solo existe disposición de excretas.
7. Crear conciencia ambiental orientada hacia un mejor aprovechamiento y ahorro del agua.

III. JUSTIFICACIÓN

Las aguas grises contienen diversos contaminantes que generan un impacto negativo al medio ambiente; y cuando éstas no tiene una disposición final adecuada o un lugar donde puedan verterse se convierten en un problema igualmente para el ser humano.

Esta situación se ve ejemplificada en la ciudad de San Marcos, donde las aguas grises fluyen libremente en las calles, contribuyendo a la creación de charcas, proliferación de vectores, focos de enfermedades gastrointestinales y/o emisión de malos olores; constituyendo un cuadro totalmente insalubre para la comunidad en general.

Bajo este contexto, se implementó un sistema de Biojardineras en tres hogares diferentes, como unidades demostrativas, para la conducción, colección, transporte, descomposición orgánica, separación, filtración, y disposición final de las aguas del efluente. Garantizando mejores condiciones higiénicas – salubres, mediante un sistema efectivo, con costos de mantenimiento y operación bajos y a largo plazo.

Teniendo en cuenta que las condiciones económicas de la mayor parte de los habitantes de la ciudad de San Marcos, son bajas; se considera que estos sistemas son óptimos para ellos, ya que a diferencia de otros sistemas de tratamiento, que tienen altos requerimientos de energía y agua, y que por ende los hacen costosos y complejos, solo pueden ser obtenidos por aquellos con mayor poder adquisitivo; sin embargo, el sistema de biojardineras trabaja con procesos naturales y auto sostenibles que lo hacen viable y accesible para personas con poca capacidad financiera.

El proyecto se ejecutó a nivel piloto en tres hogares, cada biojardinería construida utilizará un tipo de planta diferente, con el objetivo de evaluar la eficiencia de cada una de ellas en el proceso biológico para el tratamiento de las aguas grises. Las familias propuestas fueron capacitadas en cuanto a los procesos de operación y mantenimiento que se requieren, de manera que se garantice el correcto funcionamiento del sistema, y así poder obtener datos fidedignos de la eficiencia de ellos, ya que a pesar que ésta tecnología se ha utilizado en otras partes del mundo, e inclusive en Nicaragua, no se ha evaluado de manera sistemática en sus diferentes variantes.

Cabe mencionar que el desarrollo del proyecto se realizó en coordinación con la Asociación Pro Desarrollo Integral de los Municipios (APRODIM) y con la alcaldía de San Marcos, quienes financiaron todo el proceso de ejecución y monitoreo de los sistemas ya emplazados en los hogares de las familias seleccionadas.

IV. ANTECEDENTES

Los orígenes de las biojardineras se remontan al continente europeo, donde en países como Suecia, Alemania entre otros utilizan la estrategia de separación en la fuente, dar tratamiento y utilización de las aguas tratadas.

A nivel mundial la utilización de humedales artificiales ha sido una práctica que ha venido intensificándose cada vez más. Esto es, porque desempeñan un papel importante en la descentralización de sistemas de tratamiento de aguas residuales, debido a sus características como sistemas “naturales” de tecnología simple que aprovechan las bondades y los principios de la naturaleza aplicando la ingeniería no convencional.

Estas tecnologías no convencionales (TNC), son sistemas sostenibles y eficientes que se adaptan al entorno ambiental, social y económico fundamentalmente en pequeñas ciudades o localidades. Es decir, proporcionan soluciones adaptadas a las necesidades y a los recursos de cada territorio, se integran en el entorno natural y presentan bajos costos de funcionamiento y mantenimiento en comparación con los tratamientos de las aguas residuales por métodos convencionales.

En Nicaragua, el uso de estas tecnologías ha venido cobrando auge en los últimos años, dado que son sistemas que no requieren grandes costos para su construcción y mantenimiento; así como su alto nivel de eficiencia a la hora de dar tratamiento a las aguas residuales generadas por los hogares.

Desde su fundación en el año 1991, el Organismo Técnico no Gubernamental, HABITAR, ha venido implementando soluciones alternativas a la problemática generada por los barrios y comunidades, mediante el uso de sistemas de Biofiltros, Humedales artificiales, etc. Como parte de la labor que ha venido ejecutando dicho organismo, surgió el desarrollo del Proyecto “Mi Barrio Libre de Charcas” que consistió en la construcción de Biofiltros en los Barrios: Pantasma, Grenada, Olof Palme, Adolfo Reyes, Walter Ferreti, 12 de Octubre, 18 de Mayo y Augusto C. Sandino; localizados en la ciudad de Managua, beneficiando aproximadamente a 4583 viviendas.

En Nicaragua un porcentaje significativo de la población, carece de una alternativa adecuada de saneamiento; por tanto, promover este tipo de sistema contribuye a la búsqueda de una solución rentable y eficiente a dicha problemática.

Esta situación se ve ejemplificada en el municipio de San Marcos. Por lo cual, las personas que habitan en el barrio, desechan las aguas provenientes del uso doméstico diario en las calles de la comunidad, lo que produce un ambiente sucio y nocivo para la salud.

V. MARCOS TEÓRICO

5.1 Caracterización de los efluentes domésticos y aguas grises

5.1.1 Efluentes Domésticos

Las aguas residuales domésticas son una mezcla de todos los efluentes de una casa, es decir, de baños, sanitarios, lavandería y cocina. Las aguas residuales municipales contienen las aguas residuales domésticas, más las aguas residuales industriales, escorrentía de aguas pluviales y de infiltración de agua.

La caracterización de las aguas residuales domésticas se suele expresar como la carga por habitante, y los valores típicos están bien documentados en países industrializados, pero no tanto en los países en vías de desarrollo, como Nicaragua.

La carga de DBO_5 descargados por los individuos varía en un rango relativamente estrecho, y esta variación se debe principalmente a la diferencia en dieta, así como el estatus socio-económico.

El caudal y la concentración del agua residual es el resultado del consumo de agua potable. El consumo de agua per cápita puede variar enormemente entre países o incluso dentro del mismo país debido a los diferentes niveles de sociales o estructuras tarifarias que promueven o no un uso racional, y en Nicaragua la disponibilidad del vital líquido en algunas zonas del país influye mucho también en este aspecto.

5.1.2 Aguas grises

Las aguas grises se definen como aguas residuales domésticas sin la descarga del inodoro. Por lo tanto no debe contener orina ni heces, pero en la práctica puede contener trazos de ambos, y por lo tanto presencia de los agentes patógenos. Los agentes patógenos en las aguas grises vienen principalmente de las siguientes vías de contaminación:

- Lavado de la zona anal en la ducha o el baño.
- Lavado de pañales o ropa interior.
- Re-afloramiento de las bacterias fecales (bacterias en particular) en el tanque de recolección de las aguas grises.

Las aguas grises son las aguas residuales que provienen de fuentes tales como duchas, baños, lavamanos, lavandería, limpieza de pisos, fregaderos y similares. En comparación con las aguas residuales domésticas, las aguas grises tienen significativamente cargas de materia orgánica, nutrientes (como potasio, nitrógeno y fósforo) y patógenos más bajos por habitante.

Los valores estándares para estas cargas no existen porque las características de las aguas grises varían ampliamente dependiendo de la fuente del agua gris.

La concentración de materia orgánica en las aguas grises pueden diferir significativamente de las aguas residuales domésticas: la concentración de materia orgánica es menor cuando las aguas grises son sólo de duchas y lavanderías, pero cuando las aguas grises son de cocinas y restaurantes son mucho mayores.

El tratamiento y reutilización de aguas grises como parte del concepto saneamiento ecológico (ecosan), es relativamente nuevo, y a menudo se considera como una forma más simple de tratamiento de aguas residuales, pero aún falta más experiencia. La mayoría de las tecnologías de tratamiento de aguas grises se derivan del tratamiento de aguas residuales convencionales y sin ser desarrolladas específicamente para el tratamiento de aguas grises.

La cantidad de aguas grises generadas depende del nivel de ingreso del hogar. Como regla general: la clase alta produce más aguas grises. Los hogares sin conexión en la casa de agua potable producen las aguas grises más concentradas, debido al menor consumo de agua y las prácticas existentes de reutilización: El agua es utilizada por primera vez para la higiene personal, y posteriormente, para lavar la ropa o para lavar el piso.

Para los hogares con sanitarios secos, letrinas, sanitarios con desviación de orina y deshidratación de excretas o con baños o/y letrinas composteros, la producción de aguas grises es igual a la producción total de aguas residuales de la casa.

Mientras que, para los hogares con inodoros de arrastre hidráulico, la producción de aguas grises son igual al flujo de aguas residuales totales menos la utilizada para la descarga del inodoro. Las aguas residuales del inodoro se denominan "aguas negras" y la cantidad de descarga depende del tipo de sanitario. Normalmente, el volumen varía entre 40 a 60 L / (hab/d).

El uso específico de agua depende de la región, de costumbres y de las instalaciones sanitarias, también la composición de estos efluentes son diferente y, a veces difíciles de predecir, por ejemplo:

Aguas grises de las duchas o lavandería:

- Estas aguas grises contiene detergentes, de los cuales depende la degradabilidad del producto, se recomienda usar detergentes biodegradables. Las fibras textiles y el cabello humano a menudo son mal retenidos en el pre tratamiento de las aguas grises, pudiendo causar problemas en las bombas y válvulas. Por esto se requiere una limpieza regular de bombas y válvulas.
- Hábitos inesperados tales como orinar en la ducha podrían dar lugar a problemas de olor en el reservorio de aguas grises antes de su tratamiento (albergues, espacios deportivos, jardines o lugares de camping).

Aguas grises de cocinas, panaderías y restaurantes:

- Este tipo de aguas grises pueden tener una carga orgánica muy elevada, con restos de comida, aceites y grasas que pueden resultar en una alta concentración de materia orgánica de más de 500 mg DBO₅/ lt. En este caso un pre-tratamiento anaeróbico con el uso de biogás puede ser una opción adecuada, especialmente en climas cálidos.
- Las aguas grises de los lavaderos de la cocina puede tener una gran cantidad de arena del lavado de verduras, pero la mayoría de las trampas de grasas convencionales no están diseñadas para eliminar la arena.
- Además, el uso de ceniza para lavar la vajilla puede causar problemas de obstrucción en el humedal, especialmente cuando el efluente se mezcla con el jabón de las aguas residuales de la lavandería: cenizas y jabón forman un coagulante que puede pasar la trampa de grasa, pero permanece en la superficie y entrada del humedal. Por lo tanto, con este sistema de tratamiento el uso de ceniza para lavar la vajilla no es recomendado.

5.1.2.1 Parámetros físicos

Dentro de los parámetros físicos relevantes se encuentran la temperatura y los sólidos suspendidos. La temperatura de las aguas grises varía entre 18 y 38 °C, siendo las altas temperaturas ocasionadas por el uso de agua caliente para la higiene personal. Las altas temperaturas pueden generar problemas ya que estas favorecen el crecimiento microbiológico

Se han reportado valores de sólidos suspendidos totales entre 113-2410 mg/L según Sierra (2006) y entre 7-330 mg/L según Schneider (2009).

5.1.2.2 Parámetros químicos

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de las aguas grises difiere según la fuente de generación, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 01. DBO Y DQO según fuentes de aguas residuales grises

Fuente	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
Baño	184 - 633	76 - 300
Lavandería	725 - 1815	48 - 472
Cocina	26 - 1380	5 - 1460

Fuente: Sierra, 2006

La concentración de nitrógeno total es menor en las aguas residuales grises (0,6 –7,4 mg/L) en comparación con la concentración en las aguas residuales domésticas (20-80 mg/L). La fuente principal de nitrógeno en aguas domésticas, es la orina; en las aguas grises la principal fuente de nitrógeno proviene de la cocina.

En cuanto al fósforo, la principal fuente de este compuesto en el agua gris son los detergentes. En áreas en donde se usan detergentes con altos contenidos de fósforo, se han encontrado concentraciones de fósforo total entre 6 - 23 mg/L, mientras que en áreas en donde se ha reducido el uso de estos detergentes se han encontrado concentraciones en el orden de 4 - 14 mg/L.

Respecto del pH, el ámbito característico encontrado en las aguas grises es de 6,5-8,7. El uso de jabones y detergentes pueden incrementar el pH (Schneider, 2009). En agua de cocina sin tratar se han encontrado valores de 5,7.

Las aguas grises provenientes de la cocina son la principal fuente de grasas y aceites (Friedler, 2004). Su presencia en estas aguas puede generar altos niveles de contenido orgánico y por ende dificultar aún más el tratamiento.

En un estudio realizado en el 2007, en donde se caracterizaron aguas provenientes de diferentes fuentes, se obtuvo que la concentración promedio en las aguas de cocina sin tratar es de alrededor de 200 mg/l de grasas y aceites. En otro estudio se obtuvo un valor de 323 mg/L para las aguas grises de cocina.

5.1.2.3 Parámetros Microbiológicos

Según estudios, las aguas grises pueden contener un gran número de indicadores fecales, lo cuál puede ser un riesgo para la salud humana por presencia de microorganismos patógenos. Su presencia en este tipo de aguas, proceden del lavado de manos, lavado de ropa, lavado de vegetales y carnes crudas, entre otros.

Los coliformes fecales son los indicadores de contaminación microbiana más usados, sin embargo, se considera que estos pueden sobreestimar la carga microbiana presente debido a su facilidad de reproducción bajo condiciones cálidas y húmedas que comúnmente se encuentran en tuberías y tanques de almacenamiento.

Se han encontrado que la concentración de organismos fecales varía grandemente dependiendo de la fuente:

Aguas Negras: 10^6 - 10^8

Agua gris de cocina: 10^7

Agua de Lavandería: 10^1 - 10^4

Agua de baño (ducha, lavamanos): 0 - 10^3

5.2 Humedales artificiales

5.2.1 Definición y terminología

Los Humedales Artificiales han sido definidos como “sistemas de ingeniería, diseñados y contruidos para utilizar las funciones naturales de los humedales, de la vegetación, los suelos y de sus poblaciones microbianas para el tratamiento de contaminantes en aguas residuales”.

Otros sinónimos de "humedales artificiales" incluyen: humedales contruidos, pantanos artificiales, pantanos contruidos, biofiltros, y otros sinónimos locales, aunque también se utiliza el nombre en inglés: “*wetland*” y el nombre más completo que es “*constructed wetland*”. Hay también términos diferentes para los Humedales Artificiales de flujo sub superficial (HHAA FSS), que incluyen:

- Filtros/ Biofiltros plantados. El término se refiere a la característica de los HHAA que siempre utilizan una vegetación de plantas macrófitas, que son naturales de humedales/o pantanales de la misma zona climática. Esta característica diferencia a los HHAA del grupo de "filtros no sembrados" (que también son llamados: biofiltros, lechos de percolación, lechos de infiltración o filtros intermitentes de arena).
- En Europa son conocidos como “*reed bed treatment system*” (RBTS) cuya traducción al español sería “Sistema de Tratamiento en Lecho de Caña”, debido a que una especie vegetal frecuentemente utilizada es el carrizo (*Phragmites australis*).
- En los EE.UU estos sistemas también son denominados como “*Lechos de Plantas Emergentes*” (VSB, por su siglas en ingles). “*Plantas emergentes*” son un tipo de macrófitas cuyas hojas están por encima del nivel del agua, y crecen en humedales naturales.

5.2.2 Desarrollo Histórico

Históricamente, los humedales naturales fueron utilizados como sitios de descarga de las aguas residuales. Esto se dio principalmente como medio de eliminación, mas no como tratamiento. Esta tendencia fue llevando a muchos humedales, tales como pantanos, a saturarse de nutrientes y posteriormente a degradarse ambientalmente.

La primera investigación sobre la posibilidad de tratar aguas residuales en humedales artificiales fue realizada por el Dr. Seidel en 1952 en el *Instituto Max Planck de Plön, Alemania*. En la década del '90 hubo un mayor aumento del número de HHAA debido a la ampliación de tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales (domésticas, industriales y aguas pluviales).

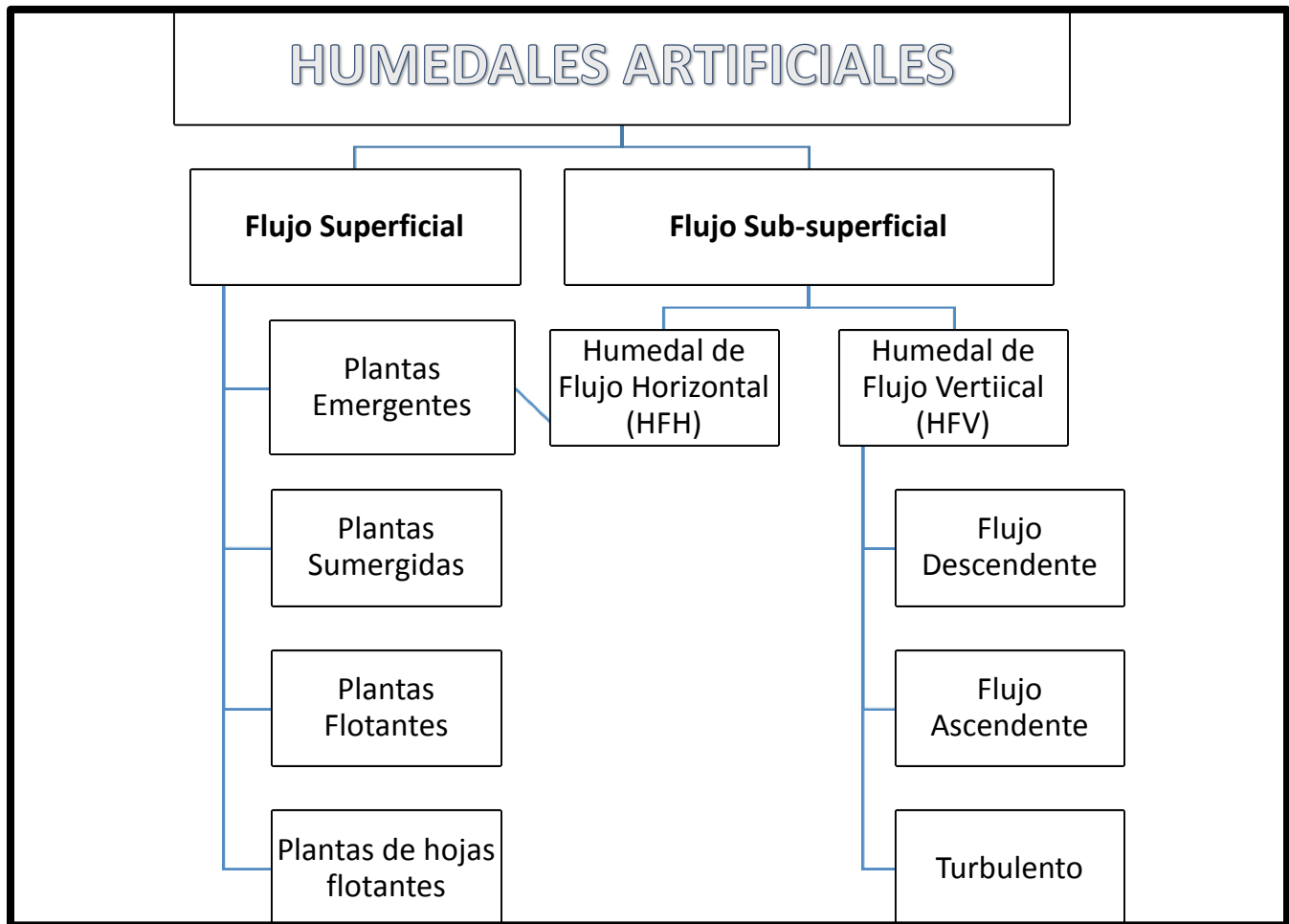
El uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales es cada vez más aceptado en diferentes partes del mundo. Hoy en día los humedales de flujo sub superficial son comunes en muchos países desarrollados (ej. Alemania, Inglaterra, Francia, Dinamarca, Polonia, Italia, etc.), siendo también apropiados para los países en desarrollo, solo que aún faltan ser más conocidos

5.2.3 Clasificación de los humedales artificiales

Los HHAA se clasifican por el régimen del flujo del agua: humedal artificial de flujo superficial (HA FS) y humedal artificial de flujo sub superficial (HA FSS), y por el tipo de las plantas macrófitas. Los humedales artificiales siempre utilizan plantas macrófitas, que son plantas acuáticas que crecen en o cerca al agua.

Los diferentes tipos de humedales artificiales pueden ser combinados entre sí (los llamados sistemas híbridos) con el fin de explotar las ventajas específicas de cada sistema.

Entre los HHAA FS hay dos tipos diferentes de material de relleno: arena o grava. Los sistemas de lecho con grava son ampliamente utilizados en América Latina, África, Asia, Australia y Nueva Zelanda. Los sistemas de lecho con arena tienen su origen en Europa, pero hoy en día son utilizados en todo el mundo.



Fuente: Hoffman, H. ; Platzer C. (2011) *“Revisión Técnica de Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas.* Dra. Elisabeth Von Muench.

FIGURA 1. Clasificación de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales

5.2.4 Rango de aplicaciones

Los humedales artificiales pueden ser utilizados para una variedad de aplicaciones:

- Tratamiento de aguas residuales municipales
- Tratamiento de agua residuales domésticas o aguas grises
- Tratamiento terciario de efluentes pre tratados en plantas convencionales de aguas residuales
- Tratamiento de aguas residuales industriales (como lixiviados de rellenos sanitarios, compost, tratamiento de lodos, desechos de refinerías de petróleo, drenaje ácido de minas, desechos agrícolas, efluentes de fábricas de pulpa y de papel o fábricas textiles)
- Tratamiento y retención de aguas pluviales
- Tratamiento natural para agua de piscinas (sin cloro)
- Tratamiento natural de ríos y lagos contaminados.

5.3 Patógenos y su remoción en humedales artificiales

Los patógenos que se transmiten por las aguas residuales o aguas contaminadas (enfermedades transmitidas por el agua) son, por ejemplo:

- Bacterias: *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae*, *Shigella*, *Legionella*, *Leptospira*, *Yersinia*.
- Protozoos: *Entamoeba*, *Giardia* y *Cryptosporidium*.
- Helmintos (lombrices intestinales): *Ascaris*, *Enterobios*, *Tenia*, *Schistosoma*, *Trichuris*, *Fasciola*.
- Virus: Adeno-, Entero -, Hepatitis A-, Polio-, Rota-Virus

Las enfermedades típicas son las diarreas inespecíficas, con calambres y vómitos, náuseas, deshidratación o fiebre tifoidea, cólera, poliomielitis o también enfermedades respiratorias (tales como adenovirus). Las concentraciones de los microorganismos y patógenos en aguas residuales crudas se muestran en la Tabla 02.

Tabla 02. Concentraciones típicas de Microorganismos y patógenos en aguas residuales crudas y domésticas.

Concentración (NMP/100ml)	Valores Típicos en el Mundo
Coliformes Termotolerantes	108-1010
Huevos de Helmintos	10-103
Quistes de Giardia	102-105
Quistes de Cryptosporidium	10-104

Fuente: Hoffman, Heike. "Revisión Técnica de Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas", Eschborn, 2011

Bacteria:

La mayoría de las bacterias coliformes termo tolerantes no son patógenas, pero la probabilidad de que bacterias patógenas sean transmitidas sólo puede ser minimizada mediante la reducción total de la concentración de bacterias. Es importante mencionar, que las bacterias sobreviven en clima caliente por mucho tiempo.

Huevos de helmintos:

La prevalencia de infecciones por helmintos en el mundo se correlaciona claramente con la cobertura de saneamiento.

Las tasas de infecciones de la población, especialmente en niños, de países en desarrollo pueden ser muy altas.

Los helmintos son transmitidos por sus huevos o quistes, los que son resistentes a la desinfección con cloro y son relativamente grandes (10 a 100 micras) . Por lo tanto, la sedimentación en el pre-tratamiento con un largo tiempo de retención en el estanque, seguido por la filtración en los humedales artificiales muestra buenos resultados de eliminación.

Los huevos de helmintos permanecen en el lodo del estanque de estabilización de los residuos y otros procesos de sedimentación, y pueden sobrevivir durante más de 10

años. Por esto los lodos generados en el pre-tratamiento deben ser tratados antes de que sean utilizados en la agricultura, el tratamiento debe ser capaz de desactivar los huevos.

Los huevos de helmintos no se ven afectados por la cal (carbonato de calcio), o la digestión mesofílica ni por vermicompostaje (compostaje con lombrices de tierra). Los posibles métodos de tratamiento para inactivar los huevos de helmintos de las heces es el compostaje en pila termofílica (temperatura > 60OC) o el almacenamiento a largo plazo.

Protozoarios y virus:

Protozoarios como Giardia y Cryptosporidium tienen un impacto significativo sobre las personas que tienen comprometido el sistema inmunológico. La infección es causada por la ingestión de agua contaminada y los quistes que son excretados con las heces y que son muy comunes en las aguas residuales. La eficiencia de eliminación (por gravedad o filtración por ejemplo) de estas pequeñas partículas (3-14 μm) es la misma que la del virus.

Cada etapa de tratamiento elimina algunos patógenos. En términos generales, los sistemas altamente cargados y con poco tiempo de retención hidráulica eliminan menos patógenos que los sistemas con baja carga y largos tiempos de retención.

Tabla 03. Reducción de Microorganismos según el proceso de tratamiento (por Logaritmo OMS 2006, Vol. 2)

Tratamiento	Bacteria	Helminos	Protozoos	Virus
Tratamiento Primario	0-1	0-1	0-1	0-1
Digestión Anaeróbica	0.5-1.5	0.5-1	0-1	0-1
Humedal Artificial	0.5-3	1-3	0.5-2	1-2
Laguna de Estabilización	1-6	1-3	1-4	1-4

Fuente: Hoffman, Heike. "Revisión Técnica de Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas", Eschborn, 2011

La eficiencia de remoción de patógenos depende del tiempo de retención y del material de filtrado: HFH son más eficientes que HFV, y la arena es siempre mucho más eficiente que la grava.

Algunas aplicaciones de reutilización requieren una desinfección final de efluente en la etapa de tratamiento terciario, tales como:

- Cloro y compuestos de cloro, causan la oxidación de toda la materia orgánica, Cloro es tóxico para las bacterias y también para todos los demás organismos.
- La radiación UV, trabaja causando daños fotoquímicos en los patógenos. La desinfección con radiación UV es más cara que con cloro, pero está exenta de riesgos ambientales y de salud.
 - Quistes y ooquistes no son inactivados por la desinfección con cloro convencional, mientras que la desinfección UV parece ser muy eficaz.
 - Los virus son inactivados por el cloro, pero la radiación UV parece ser más eficaz para la inactivación de virus.

Un buen pre tratamiento con un tiempo prolongado de retención en el HA FSS con cama de arena es el mejor diseño posible, eficaz para la eliminación de patógenos de los humedales artificiales.

5.3.1 Mecanismos de Remoción de Contaminantes en Biojardinera

Las biojardineras pueden eliminar un gran número de contaminantes incluyendo orgánicos (DBO y DQO), materia en suspensión (MES), nutrientes (nitrógeno y fósforo), trazas de metales pesados y microorganismos. Esta reducción es llevada a cabo por procesos físicos, químicos y microbiológicos.

5.3.1.1 Materia en suspensión

Las partículas, cuando entran en una biojardinera de flujo sub superficial, quedan retenidas principalmente por tres motivos: a) las constricciones del flujo producidas por el medio granular, b) la baja velocidad del agua y c) las fuerzas de adhesión entre partículas. A estos procesos físicos se les denomina filtración del medio granular. Las raíces y rizomas de las plantas contribuyen también a la retención de partículas mediante procesos similares. Por tanto, la eliminación de la materia en suspensión en estos sistemas ocurre fundamentalmente por una combinación de mecanismos físicos. Después que la materia en suspensión es retenida en la biojardinera, comienza a degradarse y así representa una fuente interna de materia orgánica. Numerosos estudios han demostrado que la eliminación de la materia en suspensión tiene lugar cerca de la entrada de la biojardinera.

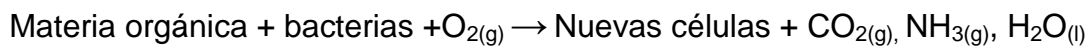
5.3.1.2 Materia Orgánica

La materia orgánica presente en el agua residual se puede clasificar en particulada y disuelta. La materia orgánica asociada a la materia en suspensión quedará retenida tal y como se ha descrito anteriormente. Así habrá una reducción de la DBO asociada a los sólidos retenidos. La degradación de la materia orgánica disuelta se produce por la presencia de los microorganismos que forman la biopelícula. En este sentido se asume que los compuestos orgánicos son degradados de forma simultánea mediante

procesos aeróbicos y anaerobios, aunque resulta difícil cuantificar la proporción en que se producen cada uno de ellos.

a) Degradación aeróbica

La degradación aeróbica de químicos solubles orgánicos es gobernada por dos grupos de microorganismos: los quimioheterótrofos, que oxidan la materia orgánica y liberan amonio; y los quimioautótrofos, los cuales oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrato y nitrito (nitrificación).



Ambos grupos consumen materia orgánica pero la proporción metabólica más rápida de los heterótrofos significa que ellos son los principales responsables de la reducción de la DBO en el sistema.

Si el oxígeno no está limitado, la degradación aeróbica dependerá de la cantidad de materia orgánica activa disponible para los organismos. El oxígeno necesario para llevar cabo la respiración aeróbica procede de la transferencia directa del aire o del transporte convectivo que realizan las plantas.

b) Degradación anaeróbica

Es un proceso de dos etapas que se da en ausencia de oxígeno disuelto por bacterias heterotróficas de tipo anaeróbico estricto o facultativo. En el primer paso, las bacterias formadoras de ácido convierten la materia orgánica en nuevas células, ácidos y alcoholes.

Un segundo grupo de bacterias, las bacterias formadoras de metano, continúan la oxidación utilizando de nuevo parte de la materia orgánica para sintetizar nuevas células pero convirtiendo el remanente a metano y dióxido de carbono.

a. Materia orgánica + bacterias → alcoholes, ácidos y nuevas células + bacterias

b. Alcoholes, ácidos y nuevas células + bacterias → $\text{CH}_{4(g)}$, $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$, $\text{NH}_{3(g)}$, $\text{CO}_{2(g)}$, $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$, nuevas células

Las bacterias formadoras de ácido son adaptables pero las formadoras de metano son más sensibles y solamente operarán en el ámbito de pH de 6.5 a 7.5. Una sobreproducción de ácido por las bacterias formadoras de ácido puede resultar en un bajo pH, deteniendo la acción de las formadoras de metano y produciendo malos olores. La degradación anaerobia predomina en sistemas sobrecargados orgánicamente.

Las bacterias aeróbicas obtienen, con un mismo sustrato, más energía que las bacterias anaeróbicas, por lo que las primeras son más eficientes. En consecuencia es conveniente favorecer condiciones ambientales que fomenten la vía aeróbica, sin embargo en estos sistemas, debido a la saturación e inundación del suelo, el oxígeno tiende a ser muy deficiente, lo que favorece el predominio de vías anaeróbicas.

c) Nitrógeno

Los procesos de eliminación de nitrógeno dependen de la forma que este se encuentre: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal (NH_4^+) o nitrógeno oxidado (NO_2^- y NO_3^-).

El nitrógeno orgánico está en general asociado a la materia en suspensión presente en el agua residual, por tanto, se elimina en gran parte por retención de esta materia. Los compuestos orgánicos que contienen nitrógeno se degradan para producir amonio. El nitrógeno amoniacal presente en el agua residual se puede eliminar por diferentes vías (volatilización, absorción, consumo de plantas y nitrificación-desnitrificación). En las biojardineras de flujo sub superficial, las vías principales son la adsorción y la nitrificación.

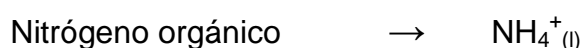
En el caso de que la nitrificación no vaya acoplada con la desnitrificación, no se produce una pérdida neta de nitrógeno. El amonio afluente y el procedente de la degradación de moléculas orgánicas se adsorben temporalmente, mediante reacciones de intercambio iónico, sobre las partículas del medio y sobre las partículas orgánicas dotadas de carga.

Debido a que la capacidad de adsorción es limitada, para que se libere el amonio adsorbido y poder regenerar los campos de adsorción, es necesario que se lleve a

cabo el proceso de nitrificación. Por tanto, la nitrificación es el proceso de transformación principal para la reducción de concentraciones de amonio en las biojardineras de flujo sub superficial.

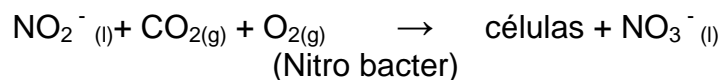
d) Amonificación (mineralización)

La materia orgánica que contiene nitrógeno es fácilmente mineralizada en ambas zonas (anóxica y aeróbica) a nitrógeno amoniacal. Este proceso es llamado amonificación.



e) Nitrificación Biológica

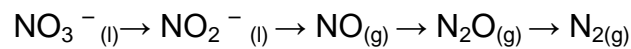
La nitrificación es un proceso quimioautotrófico. La energía para el crecimiento bacterial es derivado de la oxidación del amonio y dióxido de carbono, el cual es usado para síntesis de nuevas células. Dos géneros microbianos son los responsables de la nitrificación microbiana, Nitrosomonas y Nitrobacter. En el primer paso, el nitrógeno amoniacal es convertido a nitrito; en el segundo paso, el nitrito es convertido a nitrato.



Se necesitan aproximadamente 4.3 mg de O₂ por mg de nitrógeno amoniacal oxidado a nitrógeno de nitrato.

f) Desnitrificación Biológica

La remoción de nitrógeno en la forma de nitrato por conversión a gas nitrógeno se realiza biológicamente bajo condiciones anóxicas (donde no hay oxígeno disuelto presente pero el oxígeno está disponible de fuentes como el nitrato, nitrito o sulfato). Este proceso se llama desnitrificación. Hay varios géneros de bacterias heterotróficas que reducen el nitrato, siendo un proceso de dos etapas. El primero paso es la conversión de nitrato a nitrito, seguido por la producción de óxido nítrico, óxido nitroso y gas nitrógeno.



La eliminación de nitratos por medio de biojardineras de flujo sub superficial es muy efectiva ya que siempre hay zonas anóxicas favorables para la desnitrificación. Sin embargo, por lo general, en las aguas residuales la especie química de nitrógeno predominante es el amonio. Por tanto, la contribución en la eliminación de nitrógeno por desnitrificación depende del proceso de nitrificación. Es decir, cuanto más amonio pueda nitrificar el sistema, más desnitrificación se podrá llevar a cabo.

g) Consumo de las plantas

Las plantas que viven en los humedales necesitan nutrientes para desarrollar sus actividades vitales, y los obtienen principalmente a través de su sistema radicular. Sin embargo, las cantidades de nutrientes que asimilan las plantas suelen ser insignificantes en comparación con las cargas de nutrientes que reciben las biojardineras. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que sino se realiza periódicamente una cosecha de las partes aéreas de las plantas, la mayor parte de los nutrientes asimilados por las mismas volverán al agua, debido a los procesos de descomposición, lo que podría constituir una fuente adicional de nitrógeno. Por lo general, está comúnmente aceptado que las plantas asimilan aproximadamente el 10-20% de la carga de nitrógeno aplicada.

h) Fósforo

El fósforo está presente típicamente en aguas residuales como orto fosfato, orto fosfato deshidratado (polifosfato) y fósforo orgánico. La eliminación del fósforo en biojardineras de flujo sub superficial se puede dar por procesos bióticos y abióticos. Los bióticos incluyen la asimilación por las plantas y microorganismos, y la mineralización de los restos de vegetación y del fósforo orgánico. Los procesos abióticos incluyen la sedimentación, la adsorción por el suelo y los intercambios entre el suelo y el agua residual que circula. No obstante, la eliminación del fósforo es difícil en cualquiera de los sistemas de depuración normalmente utilizados, y las biojardineras no son la excepción. Su eliminación resulta complicada debido a la escasa movilidad que presentan los compuestos que contienen el fósforo.

5.3.1.3 Patógenos

Los patógenos son removidos durante el paso de agua residual a través del sistema principalmente por sedimentación, filtración y adsorción por la biomasa. Una vez que estos organismos son atrapados dentro del sistema, su número cae rápidamente por los procesos de mortalidad natural y depredación. El sistema ofrece una combinación conveniente de factores físicos, químicos y biológicos para la remoción de organismos patógenos. Los factores físicos incluyen sedimentación y filtración mecánica. Los factores químicos incluyen oxidación, exposición a biosidas excretados por algunas plantas y absorción a materia orgánica. Los mecanismos biológicos incluyen antibiosis, depredación por nematodos y protistas, ataque por bacterias y virus y mortalidad natural.

VI. DISEÑO METODOLÓGICO

La ciudad de San Marcos, es uno de los municipios de nuestro país, que ejemplifica a simple vista la problemática referida a la inadecuada o inexistente disposición de aguas grises. Situación que no sólo se puede observar a nivel nacional, sino también a niveles de toda la esfera terrestre. Por tanto, considerando una serie de factores tales como: condiciones socio-económicas, densidad poblacional, cambios climáticos, topografía, condiciones sanitarias, preservación ambiental, entre otras; se buscaron alternativas no convencionales, para brindar una solución factible, de bajo costo y que tuviera una incidencia mínima en el ambiente. Todas estas consideraciones se ven conjugadas en la alternativa de Biojardineras para el tratamiento de aguas grises. Proyecto que se presenta a nivel de pilotaje, con tres unidades demostrativas: dos en el barrio 05 de julio y una en el barrio Los Campos.

6.1 Presentación y planificación

El proyecto inició con la presentación del sistema propuesto a la Asociación pro desarrollo integral de los municipios (APRODIM), para solicitar financiamiento. Una vez detallado el perfil del proyecto, los dirigentes de la ONG, concluyeron que los objetivos se apegaban a su visión y eslogan “San Marcos frente al cambio climático”; y decidieron apoyarlo financieramente. Cabe mencionar que APRODIM tiene un hermanamiento con la ciudad de Jena en Alemania, a quienes también se les fue presentada la alternativa propuesta.

Una vez realizado el acuerdo de cada una de las partes integrantes del proyecto, se definieron las familias favorecidas, en donde se emplazarían los sistemas demostrativos. Se realizó una visita a cada hogar con el fin de interactuar con las familias y hacer un reconocimiento del sitio para determinar características del terreno, disponibilidad de espacio, verificación de las salidas de agua en cada una de las viviendas, la cantidad de personas por vivienda y el consumo de agua en cada familia; y realizar una pequeña encuesta a los habitantes de cada hogar **(VER ANEXO 2)**

Con el levantamiento realizado y los datos obtenidos, se procedió a realizar un diseño correspondiente para cada sitio particularmente, en donde se analizaron cada uno de los parámetros de diseño necesarios para dimensionar adecuadamente el sistema.

El diseño permitió determinar los costos de construcción y el presupuesto del proyecto. Esta información se remitió a APRODIM, y se indicó una lista de materiales para que se suministrasen a fin de iniciar con la ejecución física del proyecto.

6.2 Localización

San Marcos es uno de los principales municipios del departamento de Carazo, está ubicado en la Meseta de los Pueblos; Se encuentra entre las coordenadas 11° 54' latitud norte y 86° 14' longitud oeste. La cabecera municipal está ubicada a 37 km de la ciudad de Managua. El municipio se encuentra a una altitud sobre el nivel del mar de 552.4 metros; con una extensión territorial de 118.11 km². En este municipio se encuentra los barrios 05 de Julio y Los Campos.

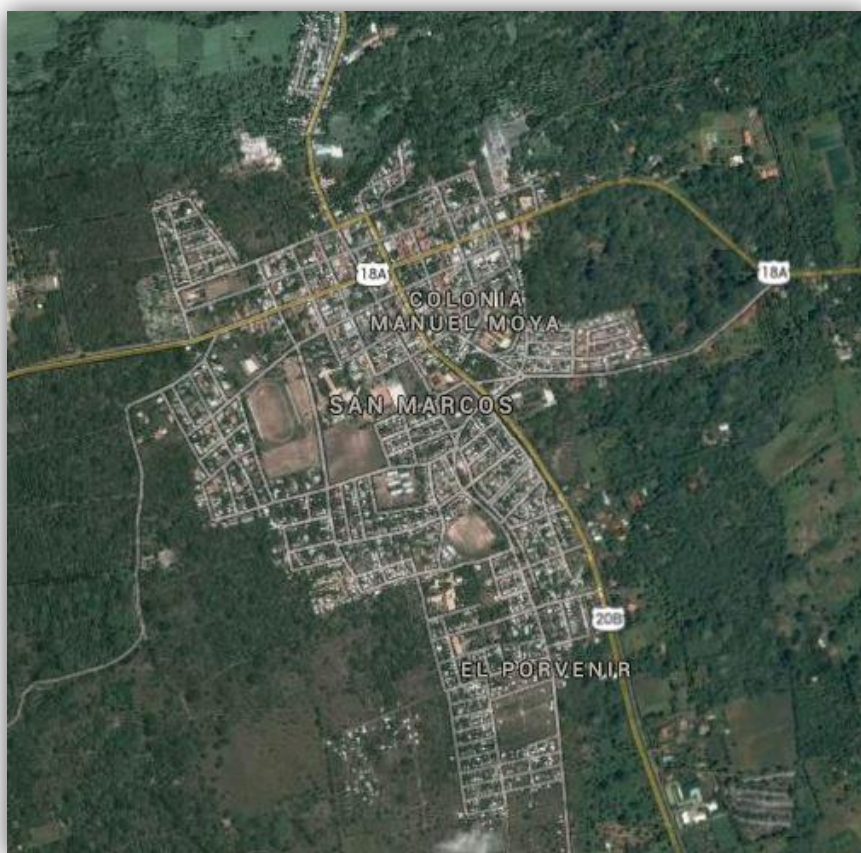
Macrolocalización



Fuente: Google Maps

FIGURA 2. Macro localización Ciudad de San Marcos

Microlocalización



Fuente: Google Maps

FIGURA 3. Micro localización Ciudad de San Marcos

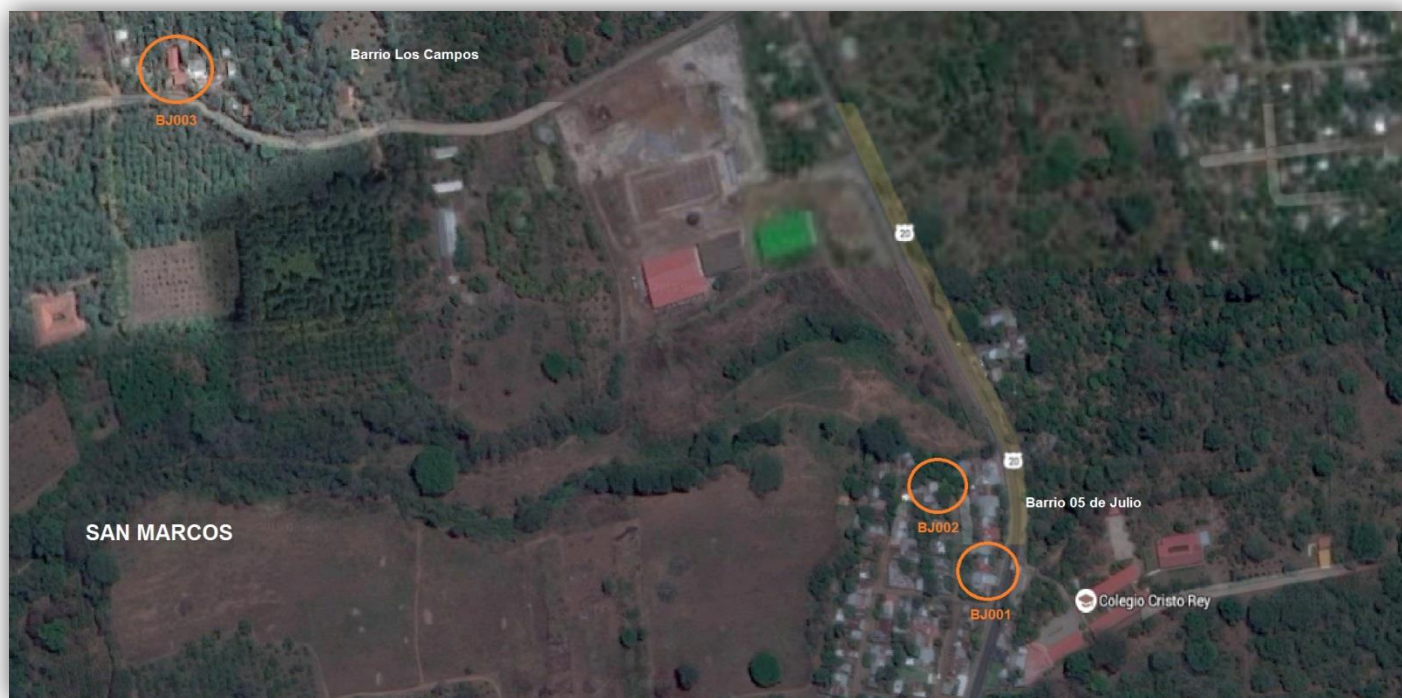
El municipio se encuentra comprendido dentro de los siguientes linderos

Al Norte: Municipio de La Concepción.

Al Sur: Municipios de Diriamba y Jinotepe

Al Este: Municipio de Masatepe .

Al Oeste: Municipio de San Rafael del Sur.



Fuente: Google Maps

FIGURA 4. Localización puntual de Biojardineras

Tabla 04. Nomenclatura de Unidades Demostrativas

Código	Ubicación	Localización
BJ001	Bº 05 de Julio, frente al colegio Cristo Rey, casa de habitación de la Señora Nydia	Latitud: 11°54'56.56" N Longitud: 86°12'18.73" O
BJ002	Bº 05 de Julio, del colegio Cristo Rey 1 c al Sur y 150 metros al Oeste, casa de habitación de la Señora Gloria	Latitud: 11°54'57.98" N Longitud: 86°12'20.24" O
BJ003	Barrio Los Campos, de la Iglesia de la Cruz 500 metros al Sur, casa de Habitación de la Señora Otilia	Latitud: 11°55'6.99" N Longitud: 86°12'38.79" O

Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O / Portobanco, F.

6.3 Descripción del Sistema de Tratamiento

La construcción de las tres unidades demostrativas de biojardinera, se llevó a cabo con el propósito principal de ofrecer una solución al tratamiento y deposición de aguas grises generadas en la ciudad de San Marcos. Este proyecto se desarrolló a nivel de pilotaje con el fin de estimar los costos económicos de la construcción del sistema y evaluar su eficiencia de acuerdo al decreto 33-95, referente a “Disposiciones para el Control de la Contaminación Provenientes de las Descargas de Aguas Residuales Domésticas, Industriales y Agropecuarias”; y así, contar con información real que sirva de base para una proyección de implementación masiva del sistema.

Las biojardineras o humedales construidos son un complejo ecosistema constituido de substrato saturado, vegetación, microorganismos y agua, cuyo objetivo es la remoción de contaminantes mediante diversos procesos físicos, químicos y biológicos. Se utilizan como segundo paso de tratamiento, esto es después de haberle quitado a las aguas residuales los elementos pesados y grasosos.

Estos sistemas se clasifican en flujo superficial o sub superficial según la circulación del agua a través de un medio granular, en el caso de las biojardineras de estudio, se tratan de Humedales de flujo Sub superficial. En las biojardineras de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera, con vegetación emergente y suelo impermeabilizado.

En las biojardineras de flujo sub superficial la circulación del agua es subterránea a través de un medio poroso (suelo, arena o grava), las plantas se siembran en la superficie y las aguas residuales pre tratadas atraviesan de forma horizontal (biojardineras de flujo sub superficial horizontal) o vertical (biojardineras de flujo sub superficial vertical) el lecho filtrante. En este tipo de biojardinera al no encontrarse el agua expuesta, se evita la cría de mosquitos y malos olores.

Estas unidades para el tratamiento de aguas son muy sencillas y funcionan como filtros dado el flujo del agua a través de material filtrante granular y como unidades biológicas, dada la participación de las plantas al extraer materia orgánica y nutrientes, como también por la inoculación de oxígeno al agua que pueden hacer esas plantas por sus

raíces. Las bacterias, que son responsables de la degradación de la materia orgánica, utilizan la superficie del lecho filtrante para la formación de una película bacteriana y de esta manera existe en el filtro una población bastante estable. Adicionalmente, es interesante tener en cuenta que es posible la remoción de agua por efecto de evapotranspiración a lograr con las plantas y las condiciones del sitio.

6.4 Componentes del Sistema

6.5.1. Unidades de pre tratamiento

El sistema cuenta con dos unidades de tratamiento primario (Foto 1,2 y 3), cuya función es remover las partículas gruesas y grasosas presentes en las aguas grises y evitar la obstrucción de la biojardinera con las mismas. En esta etapa son separados los sólidos, tanto como flotantes como los más pesados que pueden ser decantados situándose en la parte inferior del tanque, paralelamente se producirá una separación de grasas y detergentes mediante la diferencia de pesos específicos.

Los aspectos que se toman en cuenta en esta parte del sistema son: el tiempo de retención hidráulica, la cual es demandada para la apropiada sedimentación o decantación de las partículas; tiempo de retención para una biodigestión; y el espacio necesario para la acumulación de materia.

En cada sitio donde se emplazaron los sistemas, se utilizaron tanques de 250 lts rotoplas bicapa, para obtener una mayor retención de los residuos sólidos en el pre tratamiento.



Fuente: Guerrero, O / Portobanco, F.

FOTO 01. Pre tratamiento Unidad BJ001



Fuente: Guerrero, O / Portobanco, F.

FOTO 02. Pre tratamiento Unidad BJ002



Fuente: Guerrero, O / Portobanco, F.

FOTO 03. Pre tratamiento Unidad BJ003

Cada pre tratamiento cuenta con tuberías de PVC de 2 pulgadas, que conducen las aguas grises de una unidad a otra. Tanto en la tubería de entrada como de salida de cada recipiente, están colocadas unas TEE's de PVC que actúan como barreras, cuya función es reducir la velocidad de ingreso y facilitar procesos de sedimentación. Además, éstas TEE's evitan que al ingresar el agua, la capa de grasa que se forma sobre los líquidos acumulados se perturbe y escape hacia la siguiente unidad. En la primera unidad de pre tratamiento, existe una línea de ventilación a una altura considerable (por encima del edificio y/o vivienda).

6.5.2. Biojardinera

Una vez que las aguas grises han pasado por cada unidad de pre tratamiento, se conducen hacia la biojardinera mediante tubería de PVC de 2 pulgadas. En las biojardineras la circulación del agua es subterránea a través de un medio poroso (suelo, arena o grava), en este caso grava. Las dimensiones de las biojardineras corresponden al diseño realizado para cada una de las 3 unidades demostrativas. En la siguiente tabla se muestra el dimensionamiento de cada unidad.

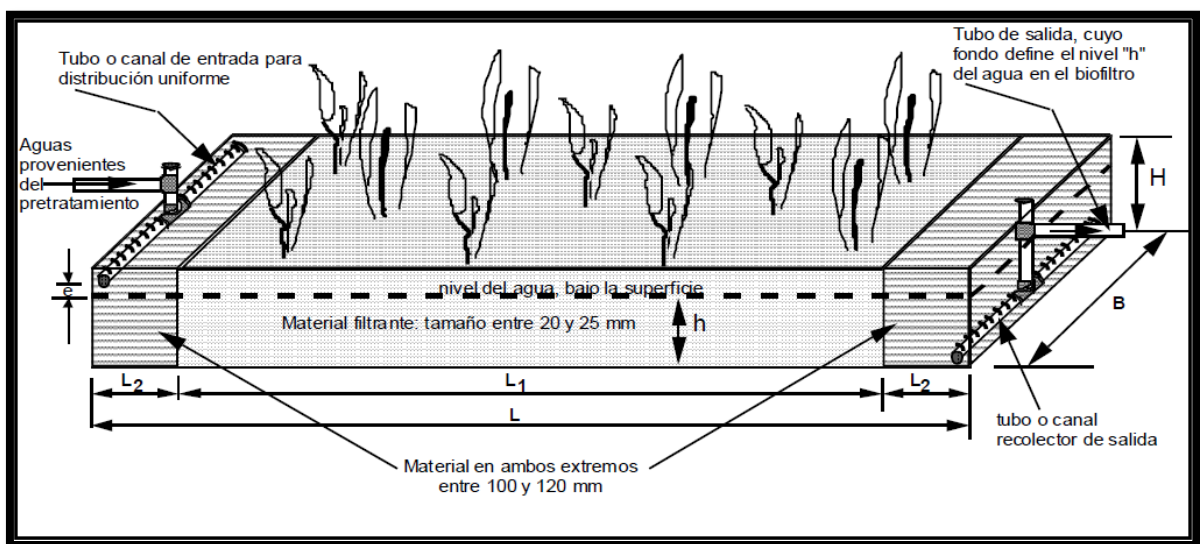
Tabla 05. Dimensiones de Biojardineras

Unidad	Ubicación	Ancho, mts	Largo, mts	Altura, mts
BJ001	B° 05 de Julio	1.20	2.50	0.70
BJ002	B° 05 de Julio	1.40	5.00	0.70
BJ003	B° Los Campos	1.50	5.10	0.70

Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O / Portobanco, F.

En el sistema, se coloca en la entrada, una tubería con perforaciones a todo lo ancho de la sección para procurar una descarga uniforme de flujo. En el otro extremo se coloca también una tubería con ranuras en el fondo, dispuesta a recoger el agua que viene por toda la sección transversal. La posición del fondo de la tubería de entrada siempre debe estar más alta que el nivel o posición del ducto de salida. Esto permite el gradiente hidráulico requerido para que haya flujo.

El lecho filtrante del sistema está constituido de piedra bola o piedra bolón colocados en los extremos del sistema; y de piedra cuarta colocada en la sección central de la biojardinera; tal y como se muestra en la Figura 5, con los valores indicados en la Tabla, para cada caso en particular.



Fuente: Delís Neira, S. (2008). *Manual de Biojardineras*. Managua, Nicaragua: INAA, Departamento de Fiscalía Técnica.

FIGURA 5. Dimensiones y distribución de Lecho filtrante en Biojardinería.

Tabla 06. Distribución de Lecho filtrante de piedra bolón y piedra cuarta.

Unidad	Ubicación	Largo, m	Ancho, m	L1,m	L2, m	Altura, m
BJ001	Bº 05 de Julio	2.50	1.20	1.80	0.35	0.70
BJ002	Bº 05 de Julio	5.00	1.40	4.00	0.50	0.70
BJ003	Barrio Los Campos	5.10	1.50	4.10	0.50	0.70

Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O / Portobanco, F.

Las plantas constituyen parte esencial de la biojardinería, y en este caso en particular, existen 3 especies de plantas diferentes, una para cada unidad respectivamente. Las plantas a colocarse deben poseer raíces largas y ser de las plantas que les gusta vivir en agua o con bastante humedad (Plantas Macrófitas). La elección de estas plantas se realizó tomando en consideración, las referencias bibliográficas en cuanto a la

incidencia de la planta en los procesos de saneamientos de agua y/o depuración de contaminantes; también se tomaron de referencia sistemas similares existentes; y la disponibilidad de la especie de planta en la zona.

Siguiendo lo antes mencionado, se utilizaron las siguientes plantas, las cuales se describen a continuación:

- Para la vivienda del Barrio 05 de Julio abajo, se utilizó Platanillo.

El platanillo es una planta tropical perteneciente a la familia de las Heliconias, son eficientes en el tratamiento de aguas residuales; de igual forma, pueden utilizarse para propósitos ornamentales ya que producen flores de variedad de colores. Crecen entre 2.5 a 4.5 metros, necesita calor húmedo, semi sombra o sol ligero para desarrollarse.

- Para la vivienda del Barrio 05 de Julio arriba, se utilizó Ginger.

El Ginger es una de las plantas más utilizadas en este tipo de sistemas, puesto que es muy eficaz en la remoción de Fósforo total y de la DQO.

- Para la vivienda del Barrio Los Campos, se utilizó Vetiver.

El vetiver se ha señalado como una planta que puede eliminar diversas sustancias contaminantes de las aguas, entre ellos algunos macro nutrientes tales como el nitrógeno, fósforo y algunos metales pesados: Níquel, Cadmio, Plomo, Mercurio, Cianuro y algún porcentaje de Flúor.

La utilización de vetiver *Vetiveria zizanoides* (L.) Nash para tratar aguas residuales es un método de bajo costo y muy eficiente para tratar aguas residuales domésticas e industriales y en investigaciones se ha demostrado que el vetiver bajo condiciones hidropónicas (*cuando las plantas no son sembradas en suelo agrícola, sino en un medio inerte, como la grava, donde las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua, para el desarrollo de las plantas*), es capaz de bajar el nitrógeno total de 100 mgL⁻¹ a 6 mgL⁻¹ (94 % de eficiencia); el fósforo total de 10 mgL⁻¹ a 1 mgL⁻¹ (90 %), Coliformes fecales ≥ 1.600 org /100 mL a 900 org /100 mL (44 %); E. Coli %, E. Coli de ≥ 1.600 org /100 mL a 140 org /100 mL (91 %); Oxígeno disuelto de < 1 mgL⁻¹ a 8 mgL⁻¹ (>800); conductividad eléctrica de 928 μ Scm⁻¹ a 468 μ Scm⁻¹; pH 7.3 a 6,0 y

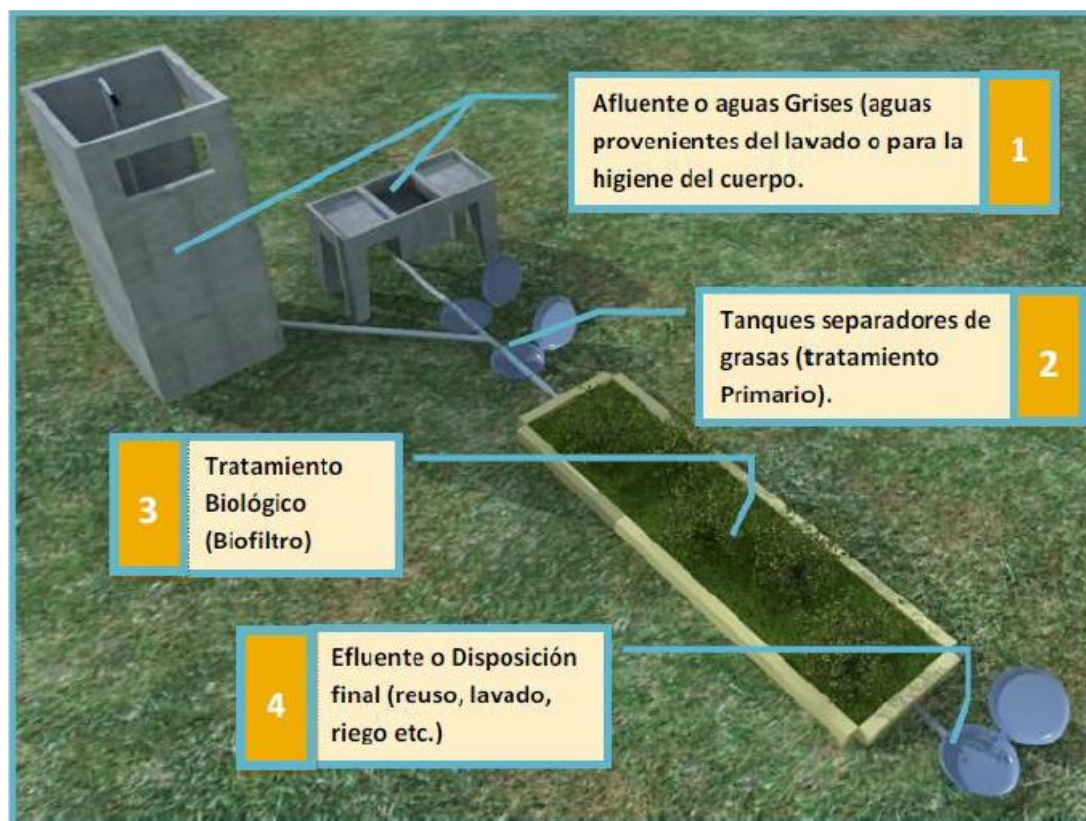
puede evapotranspirar 1,1 L/día/cuatro plantas/ tambor, todo esto con un tiempo de retención de cuatro días.¹

6.5.3. Unidad de Almacenamiento

Como último componente en el sistema se encuentra el tanque de almacenamiento de efluente ya tratado. Esta agua, por presentar ausencia de gran parte del material orgánico y por ser clara y sin turbidez, permite a la familia su reutilización como agua para riego, lavado de lampazo o limpieza de letrinas. Esta agua también puede ser infiltrada para recarga de acuíferos. Habiendo reducido una gran cantidad de material orgánico, se reducen por consiguiente los impactos negativos que esta agua podría causar a los acuíferos.

¹ Sánchez Rudin, A. (2012) *Sistematización Construcción de Biojardineras, Asentamiento Los Lagos, Conocido como Amagro en Arancibia, Miramar, Puntarenas*, ACEPESA.

6.5.4. Diagrama del sistema completo



Fuente: Delgado, H. (2010). *Biofiltros domiciliarios: Filtro Biológicos para la remoción de nutrientes de aguas grises*. Nicaragua: CONICYT.

FIGURA 6. Esquema del sistema tratamiento de un biofiltro.

6.5 Descripción del diseño de la Biojardinera

6.5.1 Parámetros de diseño

El tamaño de una biojardinera o humedal construido depende de la cantidad de efluente que va a entrar y de la cantidad de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que se necesita reducir. En general, un metro cúbico de humedal puede procesar acerca de 135 litros de las aguas grises.

Para medir la concentración de contaminantes orgánicos, en las aguas que resultan del uso doméstico el parámetro más utilizado es la Demanda biológica de oxígeno o (DBO), esta se define como la concentración de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos, presentes en el agua o añadidos a ella para efectuar la medición, en la oxidación de toda la materia orgánica presente en la muestra de agua. Su valor debe ser inferior a 8 Mg/l. Para ser considerada como potable. Generalmente en las aguas de origen domestico este valor fluctúa entre los 200 a 300 Mg/l.

Otros parámetros considerados en la evaluación de las aguas grises, son:

- Temperatura (para nuestro país 20 grados centígrados).
- Grasas y Aceites.
- Nitrógeno y Fosforo (proveniente de los detergentes y jabones)
- Sólidos suspendidos.
- Sólidos sedimentados.

Para determinar el tamaño de la biojardinera, se debe primero determinar la temperatura mínima del ambiente del sitio propuesto, la cantidad de DBO producido actualmente, y el nivel de DBO deseado para el agua del efluente. Así mismo se puede calcular el tamaño variando la profundidad de 40 a 85 centímetros para encontrar el apropiado. Por ejemplo, si hay restricción en el área de terreno disponible para la biojardinera una profundidad de 85 cm disminuirá el tamaño del sistema.

Las formulas a continuación, permiten calcular el tamaño de la biojardinera. Estas están basadas en la remoción de materia orgánica utilizando la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅; 5 días y 20°C), como parámetro fundamental. Sin embargo se requiere determinar, antes de proceder a realizar un diseño, el índice de biodegradabilidad, que se refiere a la susceptibilidad de la materia orgánica del efluente a ser degradada mediante procesos biológicos.

Este índice se puede determinar mediante una sencilla relación entre la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno.

$$\text{DBO}_5/\text{DQO},$$

Dónde:

DBO₅/DQO<0.2, No Biodegradable

0.2<DBO₅/DQO<0.4, Biodegradable

DBO₅/DQO>0.4, Muy Biodegradable

1. Velocidad de reacción

Se calcula utilizando la ecuación No.1 a continuación y un k_{20} igual a 1.19 día^{-1} * tomado de “Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas e industriales a través de la Tecnología de Biofiltro” 07/08/2001. **UNI-CIEMA.**

$$k_r = k_{20} (1.06^{(T-20)})$$

2. Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de retención, es un parámetro determinado principalmente por el tipo de contaminante a remover.

Es el tiempo en días necesario para reducir el DBO entrante a la DBO meta en la salida.

$$t = \frac{-\ln(\frac{C}{C_0})}{k_r},$$

Dónde:

C_0 = Concentración del DBO del agua que entra al sistema ($\text{mg/L} = \text{g/m}^3$).

C = Concentración de DBO deseada del agua ($\text{mg/L} = \text{g/m}^3$) que sale del sistema (meta).

K_r = Velocidad de reacción.

Los valores de DBO razonables están entre 10 y 20 mg/L ; un humedal construido puede disminuir los niveles de DBO, pero no los puede eliminar. El periodo de detención varía entre 2 y 5 días.

3. Tasa de Carga Orgánica

Con esta ecuación se calculará la masa de DBO por área y día que el sistema recibirá ($\text{g DBO/m}^2\cdot\text{d}$). En general, esta tasa no debe exceder 11.2 $\text{g DBO/m}^2\cdot\text{dia}$.

$$L_{\text{org}} = \frac{(C)(dw)(\eta)}{t},$$

Donde:

C = nivel de DBO ($\text{mg/L} = \text{g/m}^3$) del agua influyente.

dw = la profundidad de la biojardinera (m) (0.4-0.85m). A mayor profundidad mayor será la carga que el sistema puede procesar, pero si el sustrato es demasiado profundo, las condiciones del fondo llegan a ser anaeróbicas y puede suceder que la eliminación del DBO y nutrientes se vea reducida.

La porosidad efectiva del sustrato, η , es definida como la proporción del volumen no sólido al volumen total de la materia, sin dimensión, y puede ser determinado de la siguiente tabla según el tamaño de grava escogido.

Tabla 07. Porosidad efectiva del sustrato, η

Sustrato	Tamaño efectivo d_{10}^* ,mm	Porosidad efectiva, η
Arena (media)	1	0.30
Arena (grueso)	2	0.32
Arena con grava	8	0.35
Grava (media)	32	0.40
Grava (grueso)	128	0.45

Fuente: Delís Neira, S. (2008). *Manual de Biojardinerías*. Managua, Nicaragua: INAA, Departamento de Fiscalía Técnica.

La porosidad del material filtrante juega un papel importante puesto que ella depende la superficie disponible para la formación de la capa bacteriana, responsable en gran medida, de la depuración de las agua grises. Además, tiene un efecto directo sobre el tamaño de la biojardinería, pues el uso de un material más poroso reduce el área a utilizar.

En base a la tabla antes mostrada y considerando que la piedra cuarta que se utilizó fue de $\frac{3}{4}$ pulgadas, mediante interpolación se determinó un coeficiente de porosidad efectiva de 0.374 (37.4%).

4. Área del terreno

Para determinar el área del terreno necesaria para la cama del humedal construido de flujo subterráneo (m^2), se utiliza la ecuación matemática que a continuación se muestra:

$$A_s = \frac{(Q_{ave})(t)}{(\eta)(dw)}$$

Dónde:

Q_{ave} : Flujo diario medio por el humedal ($m^3/día$)

t = tiempo de retención calculado (días)

dw = profundidad del medio (m),

Valor de η determinado en la ecuación anterior.

5. Ancho de la biojardinera

$$W = \left(\frac{A_s}{R_A} \right)^{1/2},$$

Dónde:

W = ancho (m),

A_s = área del humedal (m^2)

R_A = Proporción, Longitud/Ancho.

Para humedales construidos de flujo subterráneo, se recomiendan proporciones entre 2:1 y 4:1.

6. Longitud de la Biojardinera.

La longitud, L , de la biojardinera construida (m) puede ser calculado por la expresión:

$$L = \frac{A_s}{W},$$

6.5.2 Cálculo de diseño y Validación de dimensiones

El cálculo de las dimensiones de la biojardinera y su validación, puede ser realizada con base en los parámetros de diseño descritos en el apartado anterior. En la tabla

siguiente se muestra un resumen de los valores que fueron utilizados para el diseño de las biojardineras de estudio.

Tabla 08. Parámetros considerados en el diseño de las Biojardineras.

Parámetro		BJ001	BJ002	BJ003
Número de Usuarios	hab	4	10	11
Temperatura del aire en el mes más frío	°C	19.1	19.1	19.1
Concentración de entrada de DBO ₅	mg/l	486.09	486.09	486.09
Caudal Diseño	m ³ /dia	0.307	0.766	0.843
Índice de Biodegradabilidad	-	0.65	0.65	0.65
Velocidad de Reacción	d ⁻¹	1.466	1.466	1.466
Tiempo de Retención Hidráulico	días	2.373	2.373	2.373
Tasa Orgánica	gDBO/m ² -día	1.655	1.655	1.655
Porosidad Efectiva	-	0.374	0.374	0.374

Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O / Portobanco, F.

1. Índice de Biodegradabilidad

Como se había mencionado, antes de diseñar las biojardineras, es necesario determinar si las aguas que entran al sistema son biodegradables, y por tanto, pueden ser tratadas mediante procesos de degradación biológica. Bajo ese contexto, se determinará el índice de biodegradabilidad.

$$DBO_5/DQO = \frac{486.09mg/l}{747.85mg/l} = \mathbf{0.65}$$

De acuerdo a los rangos que se indican en la sección 6.6.1 “Parámetros de diseño”, respecto al índice de biodegradabilidad; el valor obtenido es mayor que 0.4; por lo tanto, se dice que el afluente es muy biodegradable y puede ser tratado por medio de procesos biológicos para su saneamiento. Este valor es aplicable para los tres casos.

2. Caudal de Diseño

Para calcular el caudal de diseño es necesario conocer cuál es el consumo promedio mensual de los hogares, apoyado con el registro de recibos de ENACAL, en cada uno de los hogares. Sin embargo, en el caso de los hogares del 05 de Julio arriba y Los campos, no poseen un medidor del servicio de agua potable; por lo tanto, se determinó el consumo por persona por día mediante el registro de consumo del hogar del Barrio 05 de Julio abajo y se asumió el mismo para los demás hogares.

El promedio de las últimas 4 lecturas en el recibo de ENACAL del hogar 05 de Julio abajo es:

$$\frac{(14+14+4+14)m^3/mes}{4} = \mathbf{11.5\ m^3/mes}$$

El consumo expresado en litros por persona por día (lppd) se calculará de la siguiente manera:

$$\frac{11.5\ m^3/mes \times 1000\ lts/m^3}{1\ mes \times 30 \frac{dias}{mes} \times 4\ personas} = \mathbf{95.83\ lppd}$$

El caudal de diseño se calculará mediante la siguiente expresión:

$$Q_d[m^3/día] = \frac{0.80 \times Qm \times habitantes}{1000}$$

- BJ001

$$Q_d \left[\frac{m^3}{día} \right] = \frac{0.80 \times 95.83 \text{ lppd} \times 4 \text{ personas}}{1000} = 0.307 \text{ m}^3/día$$

- BJ002

$$Q_d \left[\frac{m^3}{día} \right] = \frac{0.80 \times 95.83 \text{ lppd} \times 10 \text{ personas}}{1000} = 0.766 \text{ m}^3/día$$

- BJ003

$$Q_d \left[\frac{m^3}{día} \right] = \frac{0.80 \times 95.83 \text{ lppd} \times 11 \text{ personas}}{1000} = 0.843 \text{ m}^3/día$$

3. Velocidad de Reacción

Esta dado por la siguiente expresión:

$$K_r = k_{20} (1.06^{T_a - 20})$$

Se utilizará un valor de $k_{20} = 1.19 \text{ día}^{-1}$ (Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas e industriales a través de la Tecnología de Biofiltros, 07/08/2001. UNI CIEMA).

El valor de temperatura para el mes más frío, que anteriormente se indicó en la tabla de “Parámetros considerados en el diseño de la Biojardinera” es de 19.1°C .

Para obtener el T_a , se utiliza la ecuación siguiente:

$$T_a = 10.443 + 0.688 (T_{ai})$$

$$T_a = 10.443 + 0.688 (19.1)$$

$$T_a = 23.58^\circ\text{C}$$

Por tanto, sustituyendo los valores en la expresión, se obtiene:

$$K_r = 1.19 \text{ días}^{-1} (1.06^{23.58-20}) = \mathbf{1.466}$$

Este valor de K_r es aplicable para los tres casos dado que no es un valor que cambie de particularidad debido a que se encuentra en el mismo municipio.

4. Tiempo de Retención Hidráulico

Se obtiene con la ecuación:

$$t = \frac{-\ln(\frac{C}{C_0})}{K_r}, \text{ Donde el valor de } C \text{ es asumida a } 15 \text{ mg/l de DBO para el efluente}$$

$$t = \frac{-\ln(\frac{15}{486.09})}{1.466} = \mathbf{2.373 \text{ días}}$$

Este valor se encuentra dentro del rango de aceptación que se consta entre 2-5 días. Y es representativo para los tres casos.

5. Tasa de carga orgánica

Para esta ecuación se necesita saber la porosidad efectiva del estrato filtrante, que en éste caso, se utilizó grava de $\frac{3}{4}$ ".

Con ayuda de la Tabla 7 de Porosidad efectiva, interpolamos el valor buscado y obtenemos que para una grava de tamaño efectivo de $\frac{3}{4}$ " la porosidad efectiva, η , es 0.374.

La profundidad a utilizarse en los sistemas será de 0.70 mts (dw).

Con todo lo antes dicho podemos sustituir valores en la ecuación dada para el cálculo de la tasa de carga orgánica.

$$L_{org} = \frac{(C)(dw)(\eta)}{t}$$

$$L_{org} = \frac{(15 \text{ g/m}^3)(0.70 \text{ mts})(0.374)}{2.373 \text{ días}} = \mathbf{1.655 \text{ g DBO/m}^2\text{-d}}$$

De manera general, como antes se había dicho, el valor obtenido no debe exceder 11.20 g DBO/m²-día; por lo tanto, la carga orgánica obtenida se encuentra dentro del rango de aceptación.

6. Área del terreno

$$As = \frac{(Qd)(t)}{\eta(dw)}$$

- BJ001

$$As1 = \frac{(0.307 \frac{m^3}{día})(2.373 días)}{0.374(0.70m)} = \mathbf{2.783 m^2}$$

- BJ002

$$As1 = \frac{(0.766 \frac{m^3}{día})(2.373 días)}{0.374(0.70m)} = \mathbf{6.947 m^2}$$

- BJ003

$$As1 = \frac{(0.843 \frac{m^3}{día})(2.373 días)}{0.374(0.70m)} = \mathbf{7.641 m^2}$$

7. Ancho de la Biojardinera

$W = \left(\frac{As}{RA}\right)^{1/2}$; donde RA es la proporción ancho largo la cual será asumida. En este caso se utilizará la relación 2:1.

- BJ001

$$W = \left(\frac{2.783}{2} \right)^{1/2} = 1.18 \approx \mathbf{1.20m}$$

- BJ002 (para este caso utilizaremos un $R_A=4$)

$$W = \left(\frac{2.783}{4} \right)^{1/2} = 1.31 \approx \mathbf{1.40m}$$

- BJ003 (para este caso utilizaremos un $R_A=4$)

$$W = \left(\frac{7.641}{4} \right)^{1/2} = 1.95 \approx \mathbf{1.50m}$$

8. Longitud de la Biojardinera

$$L = \frac{As}{W}$$

- BJ001

$$L = \frac{2.783}{1.20} = 2.32 \approx \mathbf{2.40m}; \text{ sin embargo asumiremos un valor de } 2.5m.$$

- BJ002

$$L = \frac{6.947}{1.40} = 4.96 \approx \mathbf{5.00m}$$

- BJ003

$$L = \frac{7.641}{1.50} = 5.09 \approx \mathbf{5.10m}$$

De acuerdo al diseño antes planteado, las dimensiones en planta de las Biojardineras en estudio se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 09. Dimensiones de diseño de Biojardineras

Unidad	Ubicación	Largo, m	Ancho, m
BJ001	Bº 05 de Julio abajo	2.50	1.20
BJ002	Bº 05 de Julio arriba	5.00	1.40
BJ003	Los Campos	5.10	1.50

Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O / Portobanco, F.

6.6 Ejecución Física de los sistemas (Construcción)

6.6.1 Concientización de la población para la implementación de los sistemas propuestos

Durante el proceso de la idea del proyecto se realizaron múltiples visitas a la ciudad de San Marcos, específicamente al barrio Héroes y Mártires, donde inicialmente se pretendían instalar los sistemas; con el fin de estimar, la amplitud de la problemática de la mala disposición de aguas grises generadas por la población en general; y mostrar a los habitantes la necesidad de un saneamiento adecuado para elevar sus niveles de vida, además de presentar el sistema de biojardineras como tecnología alternativa para el tratamiento y recuperación de éstas aguas, mostrando las bondades del producto, tanto ambientales como económicas.

Se realizó una encuesta con el fin de estimar que tanto conocimiento tenían las personas respecto a sistemas alternativos para el tratamiento de aguas residuales domésticas; medir la anuencia de la implementación del sistema de Biojardineras en sus hogares para dar una solución a la problemática planteada; y evaluar las condiciones socio económicas de las familias encuestadas. Se aprovechó la ocasión para presentarles diapositivas ilustradas, en las que se explicaba de manera sencilla la operación y funcionamiento del sistema propuesto.

Con la colaboración de APRODIM se seleccionaron a tres hogares que serían beneficiados con la adquisición de la tecnología. Posteriormente, se realizaron

levantamientos en dichos hogares para considerar la disponibilidad de terreno y sus características, para su ubicación.

En base a todos los datos levantados en los sitios durante las visitas, se realizaron los diseños particulares para cada una de las biojardineras a emplazarse, de acuerdo a las características propias de cada lugar: consumo de agua, número de habitantes, caracterización del terreno, etc.

6.6.2 Costos y Presupuesto

El costo de construcción de las tres unidades demostrativas ascendió a un monto de **C\$73,514.99 (Setenta y tres mil quinientos catorce córdobas con 99/100)**, considerando materiales, transporte, mano de obra, costos de administración, costos indirectos e impuestos municipales. Este costo se encuentra de acuerdo al diseño de las biojardineras mostradas en el acápite 6.6.2. En las siguientes tablas se muestra a detalle el presupuesto de construcción de los sistemas:

PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN BIOJARDINERA DE BARRIO 5 DE JULIO, LOCAL 01

ITEM	DESCRIPCIÓN	U/M	CANTIDAD	COSTOS UNITARIOS				COSTOS TOTALES			
				Materiales	Mano de Obra	Transporte	TOTAL	Materiales	Mano de Obra	Transporte	TOTAL
1	BJ001										C\$ 13,791.27
1.1	Limpieza Inicial	glb	1	-	50.00	50.00	100.00	-	50.00	50.00	C\$ 100.00
1.2	Descapote, 0.20 mts máximo	m3	0.6	-	50.00	-	50.00	-	30.00	-	C\$ 30.00
1.3	Trazo y Nivelación	m2	3	95.83	46.67	-	142.50	287.50	140.00	-	C\$ 427.50
1.4	Excavación (Biojardineria, Tanque de Pretratamiento, Tanque de Almacenamiento y Pozo de Absorción)	m3	2.1	-	55.00	-	55.00	-	115.50	-	C\$ 115.50
1.5	Botar Tierra Sobrante	m3	2.73	-	20.00	100.00	120.00	-	54.60	273.00	C\$ 327.60
1.6	Conformación y compactación	m2	3	-	12.00	-	12.00	-	36.00	-	C\$ 36.00
1.7	Protección Lateral con plástico negro mayor de 1.4 mm de espesor y sacos	glb	1	886.96	50.00	-	936.96	886.96	50.00	-	C\$ 936.96
1.8	Suministro y colocación de piedra Bolón (70-75 mm) como material filtrante en los extremos de biojardineria, L2	m3	0.588	416.00	24.11	610.50	1,050.61	244.61	14.18	358.97	C\$ 617.76
1.9	Suministro y colocación de Piedra Cuarta como material filtrante intermedio de diámetros entre 20mm y 25mm, L1	m3	1.512	695.65	39.28	123.24	858.18	1,051.83	59.40	186.34	C\$ 1,297.56
1.10	Suministro e instalación de Tanque para Tratamiento primario de las aguas	c/u	2	1,024.13	80.00	20.00	1,124.13	2,048.26	160.00	40.00	C\$ 2,248.26

1.11	Suministro e instalación de Tubería PVC de 2" para conexión de los sistemas y Ventilación, incluye accesorios de acople y fijación. Excavación, Relleno y Compactación	glb	1	1,983.67	1,596.00	20.00	3,599.67	1,983.67	1,596.00	20.00	C\$	3,599.67
1.12	Suministro y colocación de Plantas Ornamentales sobre el material filtrante, separadas @ 0.40 en a/D	c/u	12	70.00	6.67	10.00	86.67	840.00	80.04	120.00	C\$	1,040.04
1.13	Instalación de Tanque de Almacenamiento de Agua Salientes del Sistema de Biojardinera	c/u	1	1,024.13	53.33	20.00	1,097.46	1,024.13	53.33	20.00	C\$	1,097.46
1.14	Construcción de Bordillo de Piedra Bolón y Concreto en el Perímetro de las Biojardineras	ml	7.4	210.40	48.65	-	259.05	1,556.96	360.00	-	C\$	1,916.96
TOTAL COSTOS DIRECTOS											C\$	13,791.27
TOTAL COSTOS INDIRECTOS (5%)											C\$	689.56
ADMINISTRACIÓN (3%)											C\$	413.74
SUB TOTAL 1											C\$	14,894.57
IVA (15%)											C\$	2,234.19
IR (1%)											C\$	148.95
TOTAL,C\$											C\$	17,277.70
TOTAL,\$											\$	626.00

PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN BIOJARDINERA DE BARRIO 5 DE JULIO, LOCAL 2

ITEM	DESCRIPCIÓN	U/M	CANTIDAD	COSTOS UNITARIOS				COSTOS TOTALES			
				Materiales	Mano de Obra	Transporte	TOTAL	Materiales	Mano de Obra	Transporte	TOTAL
2	BJ002										C\$ 22,094.24
2.1	Limpieza Inicial	glb	1	-	100.00	50.00	150.00	-	100.00	50.00	C\$ 150.00
2.2	Descapote	m3	1.4	-	50.00	-	50.00	-	70.00	-	C\$ 70.00
2.3	Trazo y Nivelación	m2	7	37.58	11.20	-	48.78	263.07	78.40	-	C\$ 341.47
2.4	Excavación (Biojardinera, Tanque de Pretratamiento, Tanque de Almacenamiento y Pozo de Absorción)	m3	4.9	-	55.00	-	55.00	-	269.50	-	C\$ 269.50
2.5	Botar Tierra Sobrante	m3	6.37	-	20.00	100.00	120.00	-	127.40	637.00	C\$ 764.40
2.6	Conformación y compactación	m2	7	-	12.00	-	12.00	-	84.00	-	C\$ 84.00
2.7	Protección Lateral con plástico negro mayor de 1.4 mm de espesor y sacos	glb	1	1,891.30	50.00	-	1,941.30	1,891.30	50.00	-	C\$ 1,941.30
2.8	Suministro y colocación de piedra Bolón (70-75 mm) como material filtrante en los extremos de biojardinera, L2	m3	0.98	416.00	24.11	610.50	1,050.61	407.68	23.63	598.29	C\$ 1,029.60
2.9	Suministro y colocación de Piedra Cuarta como material filtrante intermedio de diámetros entre 20mm y 25mm, L1	m3	3.92	695.65	24.11	123.24	843.00	2,726.96	94.51	483.11	C\$ 3,304.57
2.1	Suministro e instalación de Tanque para Tratamiento primario de las aguas	c/u	2	1,024.13	80.00	20.00	1,124.13	2,048.26	160.00	40.00	C\$ 2,248.26

2.11	Suministro e instalación de Tubería PVC de 2" para conexión de los sistemas y Ventilación, incluye accesorios de acople y fijación. Excavación, Relleno y Compactación	glb	1	3,199.33	2,280.00	20.00	5,499.33	3,199.33	2,280.00	20.00	C\$	5,499.33
2.12	Suministro y colocación de Plantas Ornamentales sobre el material filtrante, separadas @ 0.40 en a/D	c/u	30	70.00	6.67	10.00	86.67	2,100.00	200.10	300.00	C\$	2,600.10
2.13	Instalación de Tanque de Almacenamiento de Agua Salientes del Sistema de Biojardinera	c/u	1	1,024.13	53.33	20.00	1,097.46	1,024.13	53.33	20.00	C\$	1,097.46
2.14	Construcción de Bordillo de Piedra Bolón y Concreto en el Perímetro de las Biojardineras	ml	12.8	183.21	27.27	-	210.49	2,345.15	349.09	-	C\$	2,694.24
											TOTAL COSTOS DIRECTOS	C\$ 22,094.24
											TOTAL COSTOS INDIRECTOS (5%)	C\$ 1,104.71
											ADMINISTRACIÓN (3%)	C\$ 662.83
											SUB TOTAL 1	C\$ 23,861.77
											IVA (15%)	C\$ 3,579.27
											IR (1%)	C\$ 238.62
											TOTAL,C\$	C\$ 27,679.66
											TOTAL,\$	\$ 1,002.89

PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN BIOJARDINERA DE BARRIO LOS CAMPOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	U/M	CANTIDAD	COSTOS UNITARIOS				COSTOS TOTALES			
				Materiales	Mano de Obra	Transporte	TOTAL	Materiales	Mano de Obra	Transporte	TOTAL
3	BJ003										C\$ 22,795.04
2.1	Limpieza Inicial	glb	1	-	100.00	50.00	150.00	-	100.00	50.00	C\$ 150.00
2.2	Descapote	m3	3.06	-	50.00	-	50.00	-	153.00	-	C\$ 153.00
2.3	Trazo y Nivelación	m2	7.65	37.58	11.20	-	48.78	287.50	85.68	-	C\$ 373.18
2.4	Excavación (Biojardinera, Tanque de Pretratamiento, Tanque de Almacenamiento y Pozo de Absorción)	m3	5.355	-	55.00	-	55.00	-	294.53	-	C\$ 294.53
2.5	Botar Tierra Sobrante	m3	6.9615	-	20.00	100.00	120.00	-	139.23	696.15	C\$ 835.38
2.6	Conformación y compactación	m2	7.65	-	12.00	-	12.00	-	91.80	-	C\$ 91.80
2.7	Protección Lateral con plástico negro mayor de 1.4 mm de espesor y sacos	glb	1	1,891.30	50.00	-	1,941.30	1,891.30	50.00	-	C\$ 1,941.30
2.8	Suministro y colocación de piedra Bolón (70-75 mm) como material filtrante en los extremos de biojardinera, L2	m3	1.05	416.00	24.11	610.50	1,050.61	436.80	25.32	641.03	C\$ 1,103.14
2.9	Suministro y colocación de Piedra Cuarta como material filtrante intermedio de diámetros entre 20mm y 25mm, L1	m3	4.305	695.65	24.11	123.24	843.00	2,994.78	103.79	530.55	C\$ 3,629.13
2.1	Suministro e instalación de Tanque para Tratamiento primario de las aguas	c/u	2	1,024.13	80.00	20.00	1,124.13	2,048.26	160.00	40.00	C\$ 2,248.26

2.11	Suministro e instalación de Tubería PVC de 2" para conexión de los sistemas y Ventilación, incluye accesorios de acople y fijación. Excavación, Relleno y Compactación	glb	1	3,199.33	2,280.00	20.00	5,499.33	3,199.33	2,280.00	20.00	C\$	5,499.33
2.12	Suministro y colocación de Plantas Ornamentales sobre el material filtrante, separadas @ 0.40 en a/D	c/u	30	70.00	6.67	10.00	86.67	2,100.00	200.10	300.00	C\$	2,600.10
2.13	Instalación de Tanque de Almacenamiento de Agua Salientes del Sistema de Biojardinera	c/u	1	1,024.13	53.33	20.00	1,097.46	1,024.13	53.33	20.00	C\$	1,097.46
2.14	Construcción de Bordillo de Piedra Bolón y Concreto en el Perímetro de las Biojardineras	ml	13.2	183.21	27.27	-	210.49	2,418.43	360.00	-	C\$	2,778.43
											TOTAL COSTOS DIRECTOS	C\$ 22,795.04
											TOTAL COSTOS INDIRECTOS (5%)	C\$ 1,139.75
											ADMINISTRACIÓN (3%)	C\$ 683.85
											SUB TOTAL 1	C\$ 24,618.65
											IVA (15%)	C\$ 3,692.80
											IR (1%)	C\$ 246.19
											TOTAL,C\$	C\$ 28,557.63
											TOTAL,\$	\$ 1,034.70

Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O / Portobanco, F.

Tabla 10. Presupuesto de Biojardineras a detalle.

Los gastos que atañen viáticos y gastos de los estudios de laboratorio se detallan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 11. Resumen de Gastos Construcción y Evaluación de los Sistemas

ITEM	DESCRIPCIÓN	U/M	CANTIDAD	CU	TOTAL
1	Gastos Básicos para visitas de supervisión, control y monitoreo (para dos técnicos)	días	21	330	C\$ 6,930.00
	Alimentación, Sólo Almuerzo	días	21	160	
	Transporte Intermunicipal	días	21	120	
	Transporte Local	días	21	50	
2	Construcción de Biojardineras	Unidades demostrativas	1		C\$ 73,514.99
	Biojardinería BJ001	c/u	1	17277.70	
	Biojardinería BJ002	c/u	1	27679.66	
	Biojardinería BJ003	c/u	1	28557.63	
3	Estudios de Laboratorio para determinar parámetros de la calidad del efluente	muestras	Cu, \$	Total,\$	C\$ 14,140.00
	Nitrógenos totales	5	8	40	
	Fósforos totales	5	5	25	
	Sólidos suspendidos	5	8	40	
	pH	2	3	6	
	Temperatura	2	2	4	
	DBO	5	15	75	
	DQO	5	15	75	
	Coliformes Fecales	5	30	150	
	Potasio	5	9	45	
	Oxígeno disuelto	3	15	45	
				TOTAL	C\$ 94,584.99
				TOTAL, \$	\$3,378.04

Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O / Portobanco, F.

La sostenibilidad económica para la ejecución física de los prototipos de biojardinería fue sustentado por medio de recursos externos provenientes de donaciones de la ONG APRODIM, con el fin de presentar una propuesta de proyecto, a nivel de pilotaje, con suficiente sustento técnico, que fuera referido a la implementación de estos sistema a mayor escala, financiado por la hermana ciudad de Jena en Alemania.

6.6.3 Ejecución Física de las Unidades de Biojardineras

Antes de iniciar con la construcción de las unidades se hizo una reunión puntual en cada hogar para describir el proceso de construcción del sistema propuesto, sus beneficios y las responsabilidades que las familias deben asumir para garantizar el buen funcionamiento. Una vez hecho lo antes mencionado, se iniciaron las obras de construcción.

6.6.3.1 Situación sin proyecto



Fuente: Guerrero, O / Portobanco, F.

FOTO 04. Situación sin proyecto Local 01, BJ001



Fuente: Guerrero, O / Portobanco, F.

FOTOS 05 Y 06. Situación sin proyecto Local 02, BJ002 en la imagen izquierda; y Local 03, BJ003 en la imagen derecha.

Al realizar la visita de campo se encontró que la topografía de los sitios donde se pretendía emplazar los sistemas eran bastante regulares con pendientes de menos de 5% propiamente en las áreas de construcción. Y los niveles de los puntos de recolección (lavamanos, lavaderos, duchas) se encontraban por encima del sitio de las biojardineras. Sin embargo, en el caso del sitio para la BJ003, se observó que el terreno era demasiado plano, y existía la probabilidad que la entrada al sistema quedara demasiado bajo, por la longitud de los recorridos y la pendiente de las tuberías.

6.6.3.2 Etapa de construcción

En este acápite se describirá paso a paso la etapa de construcción de las unidades de Biojardinera en cada uno de los sitios seleccionados, referenciadas con fotografías capturadas en tiempo real durante el proceso de ejecución.

a) Trazo y nivelación

En esta etapa, se comprende la limpieza del terreno en cada sitio, descapotado y colocación de niveletas que definirán las líneas de referencia para la excavación a realizar. En la tabla 9 se muestran las dimensiones para cada uno de los prototipos según los diseños obtenidos.





Fuente: Guerrero, O / Portobanco, F.

FOTOS 07,08 Y 09. Trazo y Nivelación. A) Barrio 05 de Julio Abajo. B) Barrio 05 de Julio Arriba. C) Barrio Los Campos.

b) Excavación y Conformación del terreno

Una vez trazadas las líneas de referencia de acuerdo al diseño, se procedió a excavar a una profundidad de 0.70 mts. Ésta actividad se realizó cuidando de no dañar alguna tubería existente que se encontrara soterrada, de agua o electricidad. Sin embargo, no se encontró ninguna. Así mismo se realizó la excavación para soterramiento de tanques de almacenamiento y para unidades de tratamiento primario.



Fuente: Guerrero, O / Portobanco, F.

FOTO 10,11 Y12. Excavación para tanques de pre tratamiento, almacenamiento y fosa de biofiltro. A) Barrio 05 de Julio Abajo. B) Barrio 05 de Julio Arriba. C) Barrio Los Campos.

c) Colocación de plástico negro y sacos

Cuando las fosas fueron conformadas adecuadamente a medida de dimensiones y profundidad contemplada, entonces se procedió a colocar plástico negro, cuyo objetivo se encuentra orientado a garantizar la estanqueidad de la fosa, evitando filtraciones de agua contaminada al suelo. Luego de colocar el plástico, se colocó un doble recubrimiento de sacos masen, que tienen por objeto proteger el plástico; para que una vez sea colocada la piedra bolón y la grava; los agregados no corten o perforen el plástico.



Fuente: Guerrero, O / Portobanco, F.

FOTO 13,14 Y 15. Colocación de plástico y sacos. A) Barrio 05 de Julio Abajo. B) Barrio 05 de Julio Arriba. C) Barrio Los Campos.

d) Colocación de piedra cuarta y piedra bolón

De acuerdo a las medidas especificadas en la tabla 6, para L1 y L2, se llenaron las fosas de la Biojardinera con piedra bolón en los extremos y piedra cuarta o piedrín de $\frac{3}{4}$ " al centro. Las piedras se colocaron con mucho cuidado de manera tal que no se dañara el plástico. Cabe mencionar que antes de ser depositadas en la fosa, las piedras fueron debidamente lavadas con agua limpia. En paralelo a esta actividad, se colocó la tubería perforada de entrada y salida del biofiltro (PVC 2"), dejando las esperas respectivas para la unión a los tanques de tratamiento primario y almacenamiento respectivamente. Así mismo el tubo perforado para ventilación al centro del sistema.



Fuente: Guerrero, O / Portobanco, F.

FOTO 16,17 Y 18 Colocación de piedra cuarta y piedra bolón. A) Barrio 05 de Julio Abajo. B) Barrio 05 de Julio Arriba. C) Barrio Los Campos.

e) Instalación de Tuberías para recolección y tanques para tratamiento primario y almacenamiento

De acuerdo al análisis del terreno que se había realizado durante las visitas a los sitios del proyecto, se definieron los recorridos del sistema de tubería para recolección de las aguas grises en los distintos puntos de interés como: duchas, lavandero, lavadoras, cocina, etc. Se tuvo especial cuidado de garantizar una pendiente adecuada de entre 1.5 a 2.5% para obtener una velocidad de arrastre necesaria que impida que los sedimentos se acumulen y provoquen obstrucciones en el sistema.

A



B



C



Fuente: Guerrero, O / Portobanco, F.

FOTO 19-28. Instalación de Tubería PVC 2". A) Barrio 05 de Julio Abajo. B) Barrio 05 de Julio Arriba. C) Barrio Los Campos.

f) Colocación de plantas

Una vez colocada las piedras, las tuberías perforadas de entrada y salida, el sistema de recolección de las aguas y tanques de tratamiento primario y almacenamiento; hacía falta por colocar las plantas; las cuales fueron dispuestas a una distancia mínima de 0.40 mts en todas la direcciones. Esta distancia entre plantas en la más efectiva ya que evita la proliferación excesiva o la poca cobertura de plantas en el sistema. Las plantas que se utilizaron son plantas con antecedentes bibliográficos en el proceso de descomposición orgánica y/o en el tratamiento de aguas grises. A) Platanillo. B) Ginger. C) Vetiver.



Fuente: Guerrero, O / Portobanco, F.

FOTO 29, 30 Y 31. Colocación de plantas. A) Barrio 05 de Julio Abajo. B) Barrio 05 de Julio Arriba. C) Barrio Los Campos.

6.7 Mantenimiento de la Biojardinera

Para asegurar el buen funcionamiento de las biojardineras, es necesario que los usuarios den mantenimiento no solo a éstas, sino también a las unidades de pretratamiento, es decir, al sistema en conjunto. Las actividades de mantenimiento a realizar para cada uno de los componentes comprenden lo siguiente:

Unidad de Tratamiento Primario

- Revisión semanal de las unidades y remoción de grasas flotantes y sólidos depositados en el fondo, los cuales pueden ser depositados en una bolsa negra y desechados como basura.
- Tratamiento a los materiales que se recojan de las unidades; ya sea juntarlos con los otros desechos de la casa y que reciban el mismo tratamiento que estos tienen o hacer una excavación en el patio, colocar los desechos y taparlos con tierra. Es importante agregarles cal con el fin de evitar malos olores y además para que los sólidos se deshidraten.
- Verificar con cierta frecuencia el estado de la línea de ventilación, la cual siempre debe tener su salida en partes altas, superior al nivel de la nariz de las personas.

Biojardinera

- Verificar periódicamente el canal o tubería de entrada y hacer la remoción de los flóculos sedimentados en ese canal de distribución. Esto se hace al menos una vez por mes.
- Cortar o deshijar las plantas que se siembren, la primera vez un año después de su siembra, y luego, al menos, cada seis meses.
- Llevar a cabo una limpieza periódica de la superficie del lecho filtrante, en forma especial después del corte o recorte de las plantas, para evitar que la descomposición de esa materia orgánica en el sitio sature el lecho.
- Si se notan “Charcos” o estancamientos de agua en la superficie, principalmente a la entrada a la Biojardinera, se recomienda remover el material grueso y una

sección (no menor a 50 cm) del material de menor tamaño del lecho filtrante, a todo el ancho. Es posible sacar el material y limpiarlo (lavarlo) o sustituirlo con material nuevo de las mismas características, para mantener durante varios años la alta eficiencia de remoción que posee el sistema.

- Mantener un buen control del espejo o nivel sumergido del agua. Ese nivel se debe mantener siempre a una profundidad muy cercana a los 10 cm por debajo de la superficie del material filtrante.

Tanque de almacenamiento

- Deberá limpiarse, por lo menos, una vez cada quince días, las paredes del contenedor para almacenamiento del efluente, a fin de eliminar, lama o residuos saturados que al agua aún lleve consigo. Los depósitos serán vaciados y luego lavados haciendo uso de pastes con agua limpia sin detergentes.
- Mantener un buen control de los niveles de salida del agua, en caso de existir (en este caso en particular), para desechar presencia de obstrucciones de las tuberías, ya que de elevarse el nivel del agua por encima del tubo de salida, ésta se regresaría por el tubo de entrada y afectaría sustancialmente, la calidad del efluente y la eficiencia del sistema en general.

6.8 Periodo de Estudio

Para los proyectos pilotos, como lo es en este caso, luego de la etapa de construcción de los biofiltros, comienza una tarea de seguimiento, control y monitoreo que consiste en verificar los niveles de eficiencia del sistema, tomando pruebas de aguas en el afluente y el efluente del sistema para verificar los parámetros de contaminación, como DBO (Demanda Bioquímica de oxígeno), nitratos y fósforo.

El período de estudio inició el día miércoles 11 de Noviembre del año 2015 y finalizó el 28 de Marzo del año 2016. Durante este período se realizaron tres muestreos que se muestran en la Tabla 12. Los parámetros que se analizaron fueron: pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, coliformes fecales, nitrógenos totales, fósforos totales,

potasio, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y contenido de oxígeno disuelto. Los parámetros a evaluarse se eligieron en base a la función específica de las biojardineras en el proceso de depuración de contaminantes: absorción de nutrientes y descomposición de la materia orgánica. Así mismo para realizar un análisis de eficiencia comparativo entre los distintos tipos de plantas que se utilizaron.

Tabla 12. Calendario de Muestreos

Mes	Día	Muestreo	Número de Muestras	Parámetros Evaluados
NOVIEMBRE 2015	Miércoles 11	1	3	1. Temperatura 2. pH 3. Demanda bioquímica de oxígeno 4. Demanda química de oxígeno 5. Potasio 6. Fósforo Total 7. Nitrógeno Total 8. Coliformes Fecales
	Lunes 23	2	2	1. Temperatura 2. pH 3. Demanda bioquímica de oxígeno 4. Demanda química de oxígeno 5. Potasio 6. Fósforo Total 7. Nitrógeno Total 8. Coliformes Fecales
FEBRERO 2016	Lunes 22	3	3	1. Oxígeno Disuelto

Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O / Portobanco, F

La recolección de las muestras se realizó tomando el agua saliente (efluente) del sistema en unos recipientes plásticos que fueron codificados con antelación correspondientemente a la nomenclatura asignada para cada unidad de estudio. Durante el muestreo se registró la hora precisa de la colecta.

Se tuvo especial cuidado de no contaminar con algún agente externo o ajeno a la integridad de las características del efluente, para garantizar la calidad de la muestra a analizarse.

En el primer muestreo realizado el día miércoles 11 de noviembre, las muestras fueron tomadas en el período de tiempo entre las 3 – 5 pm, se almacenaron en refrigeradora y se remitieron al laboratorio del PIENSA por la mañana del siguiente día. Para la segunda colecta, las muestras se llevaron al laboratorio el mismo día; considerando que después de 24 horas pierden representatividad en los resultados.

El día 22 de febrero se realizó la colecta de muestras para evaluar el oxígeno disuelto en el afluente y efluente de los sistemas, a fin de analizar el contenido de oxígeno inyectado por el sistema radicular de las plantas. El conocimiento de este dato es fundamental en este estudio debido a que el sistema como tal, se desarrolla en condiciones aerobias; por tanto, la presencia de oxígeno en cada uno de los procesos depurativos de los contaminantes es de gran relevancia.

6.8.1 Medición de pH y Temperatura

La medición de temperatura y pH, para el primer muestreo, se realizó haciendo uso de un pH metro digital, previamente calibrado con soluciones buffer estándar de pH conocido; y un termómetro análogo, proporcionado por el departamento de Hidráulica. Para el segundo muestreo, se remitieron muestras al Laboratorio PIENSA para que ellos evaluaran los parámetros, siguiendo procesos más técnicos como el método electrométrico y termométrico para pH y temperatura respectivamente.



Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O/ Portobanco, F.

FOTO 32,33 Y 34. Calibración de pH metro, toma de temperatura y recolección de muestras

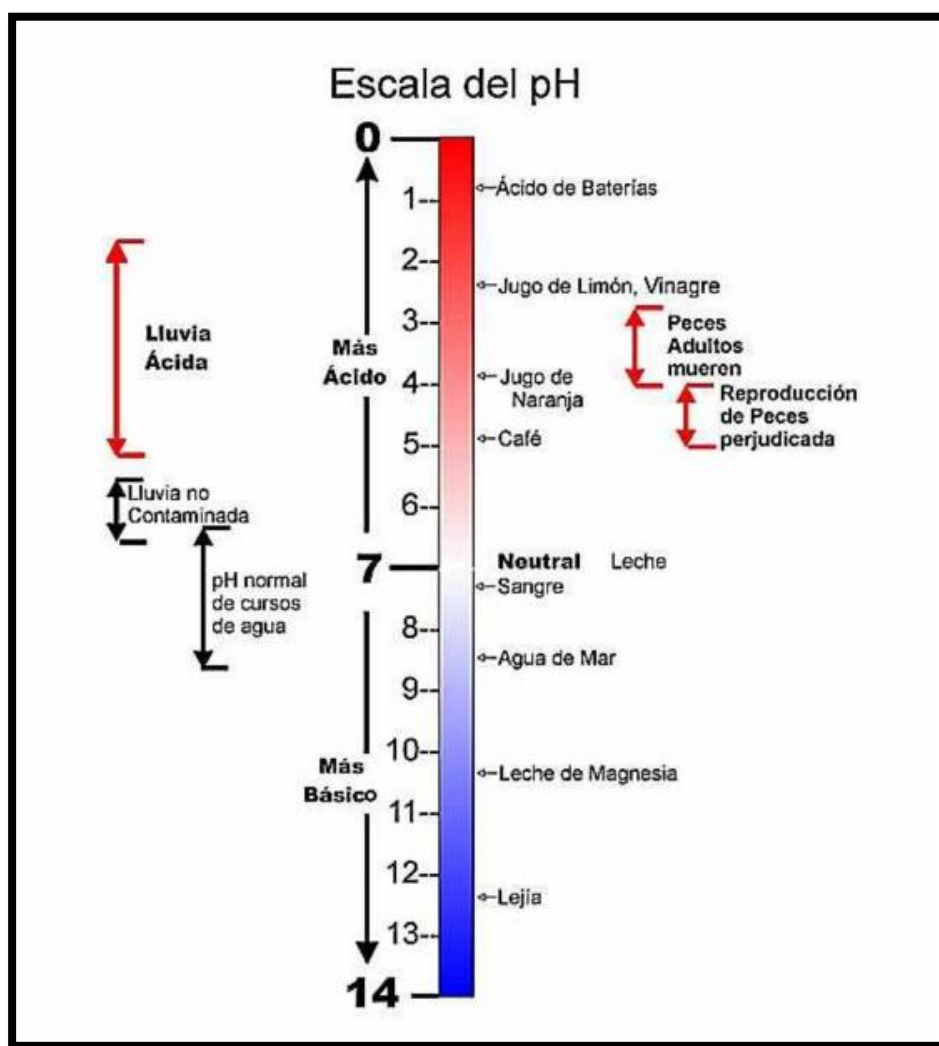
6.8.1.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH o Potencial de Hidrógeno, es una unidad de medida de la acidez o la alcalinidad de una sustancia o solución en una escala que varía entre 0 y 14. La acidez aumenta cuando el pH disminuye. Una solución con un pH menor a 7 se dice que es ácida, mientras que si es mayor a 7 se clasifica como básica. Una solución con un pH 7 será neutra.

El valor de pH representa el menos logaritmo en base diez de la concentración de iones hidrógeno $[H^+]$. Como la escala es logarítmica, la caída en una unidad de pH es equivalente a un aumento de 10 veces en la concentración de H^+ .

Los cambios en la acidez pueden ser causados por la actividad propia de los organismos, deposición atmosférica (lluvia ácida), características geológicas de la cuenca y descargas de aguas de desecho.

El pH afecta procesos químicos y biológicos en el agua. La mayor parte de los organismos acuáticos prefieren un rango entre 6,5 y 8,5. pHs por fuera de este rango suele determinar disminución en la diversidad, debido al estrés generado en los organismos no adaptados. Bajos pHs también pueden hacer que sustancias tóxicas se movilicen o hagan disponibles para los animales.



Fuente: Google

FIGURA 7. Escala de pH

El método utilizado para la determinación del pH fue el **Método 4500-H⁺ del Stándar Methods 21st edition, o Método Electrométrico**. El principio de éste método consiste en la determinación de la actividad de los iones de Hidrógeno por medidas

potenciométricas usando un electrodo combinado o un electrodo estándar de hidrógeno de vidrio con un electrodo de referencia.

Procedimiento

El procedimiento del método está dado por los siguientes pasos>

- Se inicia con la calibración del equipo: medidor de pH. En la calibración del equipo se usan a lo menos dos de las soluciones buffer, cuyos valores de pH deben cubrir el rango de pH esperado por la muestra a medir. Los instrumentos que se utilizan en la práctica de este método son: medidor de pH, electrodo de referencia de potencial constante y electrodo de vidrio; termómetro o sensor de temperatura para compensación automática en el instrumento; agitador magnético y barras agitadoras; y vasos de Bohemia.
- Los buffers y la muestra deben llevarse a la misma temperatura (si el equipo lo permite utilizar compensación de temperatura). El valor correspondiente del pH de los buffers debe ser corregido a la temperatura de los mismos.
- Una vez realizadas las calibraciones necesarias, se procede a medir el pH de la muestra indicando la temperatura de la misma. Se debe realizar la medida con una agitación moderada para minimizar la entrada de dióxido de carbono y suficiente como para homogenizar la muestra.
- Una vez finalizada la medida enjuagar y secar suavemente los electrodos y proceder a ubicarlos en la solución de preserva de los mismos.

6.8.1.2 Temperatura (°C)

Los datos de temperatura son necesarios para propósitos de enfriamiento o para usos en procesos industriales así como para el cálculo de la solubilidad del oxígeno y el equilibrio dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato. La temperatura del agua tiene influencia sobre su sabor, y también es importante en relación con el baño y la irrigación agrícola. Las aguas grises se reportan valores típicos de entre 18°C y 38°C.

El método utilizado para la medición de la temperatura fue **el método termométrico (Método SM/EPA 2550-B)**

Procedimiento

Las mediciones se deben hacer con el termómetro sumergido directamente en el cuerpo de agua, después de un período de tiempo suficiente para permitir lecturas constantes. Al mismo tiempo se mide la temperatura del aire en un punto fuera del alcance de cualquier fuente de calor o radiación solar directa y por lo menos a un metro de distancia sobre el NT (Nivel de terreno), usando el mismo termómetro, previamente secado. Es más conveniente, medir la temperatura del aire primero y luego la temperatura del agua. Para esta medición se hace uso de un termómetro con respuesta rápida, con divisiones de 0.1°C , chequeado contra un termómetro de precisión.

6.8.2 Medición de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de una muestra es el oxígeno (en mg/L) que se consume para la descomposición de la materia orgánica de la muestra por la acción microbiana aerobia.

La DBO así definida representa una medida indirecta de la concentración de materia orgánica biodegradable contenida en el agua, siendo de todas las técnicas efectuadas en el laboratorio la que más se asemeja a las condiciones de oxidación natural.

El análisis consiste en observar en el laboratorio el descenso que se produce en la concentración de oxígeno disuelto en la muestra cuando es incubada durante un cierto tiempo y a una determinada temperatura en presencia de una población bacteriana.

En la práctica la oxidación total de la materia orgánica puede tardar varios meses en completarse y su velocidad varía con la temperatura. En la práctica se mide la DBO correspondiente a un lapso de 5 días a 20°C .

Por lo tanto para la medición de la DBO de un agua residual se requiere la presencia simultánea de:

- Materia Orgánica
- Microorganismos aerobios o aerobios facultativos
- Oxígeno disuelto

La materia orgánica está presente en la muestra y es la incógnita. La vamos a determinar en base al oxígeno que se consume en su oxidación por lo que solamente se mide la materia orgánica susceptible de ser degradada por los microorganismos presentes.

Los microorganismos pueden estar presentes en la muestra o en caso contrario deben ser agregados. Se suele agregar un pequeño volumen de un agua superficial que provea un inóculo mixto con el objetivo de degradar la materia orgánica presente

Por último debe haber todo el oxígeno disuelto necesario para que se lleve a cabo el proceso de oxidación, ya que a partir de su disminución estimamos la materia orgánica biodegradable presente.

Lograr que el oxígeno se encuentre en exceso es uno de los problemas técnicos que presenta esta determinación, ya que no es muy soluble en agua. El modo de aportar suficiente oxígeno da lugar a dos técnicas diferentes para medida de la DBO: El método de las diluciones y el método respirométrico.

En este caso en particular, el método utilizado correspondiente a **SM/EPA 5210-B**, es **el método de las diluciones**.

Procedimiento

El método de las diluciones consiste en incubar distintas diluciones de la muestra en un frasco herméticamente cerrado por 5 días a una temperatura de 20 °C. Las diluciones de la muestra se realizan con agua saturada de oxígeno, para asegurar su presencia mientras dura la incubación. Las diluciones deben realizarse porque el oxígeno es muy poco soluble en agua. Por ejemplo a temperatura ambiente su concentración máxima

en el agua es del orden de 8 mg/L, mientras que una muestra de un efluente puede tener un consumo de oxígeno varios órdenes más elevado.

Suponer que la DBO del efluente que se consideró es de 800 mg/L. Un aporte de 8 mg/L solo será suficiente para esa muestra si la diluyo por lo menos 1/100. Una característica de esta técnica es que, como la DBO es en principio desconocida, obligatoriamente tengo que hacer un cierto número de diluciones para asegurarme que al cabo de la incubación en alguna de ellas haya quedado oxígeno remanente y pueda así calcular cuánto fue consumido.

En la práctica el agua de dilución que se emplea además de estar saturada de oxígeno, es adicionada de sales (cloruro de calcio, sulfato de magnesio, cloruro férrico) y de una solución de fosfatos para regular el pH. Al agua de dilución se agrega también el inóculo microbiano mixto que será el responsable de la degradación de la materia orgánica. Este inóculo puede ser agua de río.

Los frascos en los que se realizan las diluciones son frascos especiales, con un tapón esmerilado y una boca ensanchada, que permiten lograr un cierre hidráulico y así evitar cualquier posibilidad de intercambio gaseoso durante la incubación.

La incubación a una temperatura de 20 °C se realiza en estufas también especiales, ya que deben tener la posibilidad de calentar o enfriar de acuerdo a la temperatura ambiente exterior.

Debe tenerse en cuenta que los resultados se obtienen recién al quinto día de incubación, no hay posibilidad de ir monitoreando el consumo en ese período.

Por último existen dos metodologías para la medición del oxígeno disuelto, la medición electroquímica empleando un electrodo de oxígeno, o la medición química por el método de Winkler.

En síntesis, la técnica consiste en incubar distintas diluciones de la muestra con agua saturada en oxígeno. Se debe medir la concentración inicial de oxígeno de cada dilución. Los frascos se cierran y se incuban por 5 días a 20 °C y al cabo de ese período se mide en cada uno de ellos el oxígeno disuelto (OD) final.

La DBO se calcula como la diferencia entre el OD inicial y el OD final teniendo en cuenta la dilución efectuada.

6.8.3 Medición de la demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es la medida del oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica e inorgánica susceptible de oxidación, contenida en una muestra bajo condiciones de un agente específico, temperatura y tiempo. Los valores de este parámetro están asociados al grado de avance de la oxidación de los contaminantes.

El método utilizado para la determinación de la DQO es el **método Espectrofotométrico (SM/EPA 5220-C)**.

Procedimiento

Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo en una solución fuertemente ácida (H_2SO_4 , ácido sulfúrico) con un exceso conocido de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en presencia de sulfato de plata (AgSO_4) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercurico (HgSO_4) adicionado para remover la interferencia de los cloruros. Después de la digestión, el remanente de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sin reducirse titula con sulfato ferroso de amonio; se usa como indicador de punto final el complejo ferroso de ortofenantrolina (ferroina). La materia orgánica oxidable se calcula en términos de oxígeno equivalente. El dicromato de potasio remanente es determinado espectrofotométricamente a 600nm.

El procedimiento se detalla a través del siguiente flujo de etapas:

- El primer paso es determinar la curva de calibración. Para obtener la curva de calibración primero se debe pipetear en 7 tubos de digestión: 1, 2, 3, 4, 5, 8 y 10 mL de la solución estándar de KHP y completar un volumen final de 10 ml con agua destilada. Estas soluciones corresponden a 50, 100, 150, 200, 250, 400, 500 mg O_2/L respectivamente.
- Luego hay que Hacer un blanco de reactivos, pipeteando 10 ml de agua destilada en un tubo de digestión.

- Agregar a cada tubo de digestión 6 ml de solución de digestión (7.1) y 14 ml de solución de ácido sulfúrico (7.2).
- Tapar bien los tubos de digestión y agitarlos vigorosamente. Colocar los tubos en el digestor a 150°C durante 2 horas. Enfriar los tubos a temperatura ambiente colocándolos en una gradilla. La gradilla debe ser adecuada para no deteriorar la calidad del vidrio de los tubos, los que se usan como celda en el espectrofotómetro.
- Invertir los tubos varias veces y esperar a que el sólido sedimente.
- Descartar los tubos de digestión cuya solución posea color verde. Leer la absorbancia a 600 nm.
- Graficar la absorbancia versus mg O₂/L y trazar la mejor recta. Se deberá hacer una curva de calibración por cada lote de activos preparados.
- Luego de obtenida la curva de calibración se procederá a realizar la determinación, que se realiza pipeteando 10 ml de muestra o una dilución adecuada en un tubo de digestión.
- Agregar a cada tubo de digestión 6 ml de solución de digestión (7.1) y 14 ml de solución de ácido sulfúrico (7.2).
- Tapar bien los tubos de digestión y agitarlos vigorosamente. Colocar los tubos en el digestor a 150°C durante 2 horas. Enfriar los tubos a temperatura ambiente colocándolos en una gradilla. La gradilla debe ser adecuada para no deteriorar la calidad del vidrio de los tubos, los que se usan como celda en el espectrofotómetro.
- Invertir los tubos varias veces y esperar a que el sólido sedimente.
- Si la solución digerida posee color verde repetir los pasos anteriores con una dilución mayor de la muestra.
- Y por último leer la absorbancia a 600 nm.

El cálculo de la DQO esta dada por la siguiente expresión:

$$\text{DQO, mg O}_2\text{/L} = \frac{cx10}{T}, \text{ donde:}$$

C= mg O₂/L de la muestra leídos de la curva de calibración

T= Ml de muestra tomada para ensayo.

Los resultados se muestran en mg de oxígeno consumido/lit.

6.8.4 Medición de sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos son partículas sólidas pequeñas, inmersas en un fluido en flujo turbulento que actúa sobre la partícula con fuerzas en direcciones aleatorias, que contrarrestan la fuerza de gravedad, impidiendo así que el sólido se deposite en el fondo. Los factores que influyen para que una partícula no decante en el fondo son: tamaño, densidad, forma de la partícula y la velocidad del agua.

Los sólidos suspendidos totales son los materiales retenidos por un filtro estándar de fibra de vidrio y secado 103-105 °C.

El método utilizado para la determinación de éste parámetro es **el SM/EPA 2540-D o método Gravimétrico.**

Procedimiento

Una muestra bien mezclada, se pasa a través de un filtro de fibra de vidrio, previamente preparado y pesado, y el residuo retenido es secado a peso constante a temperatura entre 103-105°C. El incremento de peso del filtro representa el total de sólidos suspendidos. Si el material suspendido taponar el filtro y prolonga la filtración, se debe disminuir el volumen de la muestra a filtrar o aumentar el diámetro del filtro.

El muestreo, sub muestreo y el pipeteado en dos o tres fases de las muestras, pueden introducir serios errores, por lo que se debe asegurarse siempre homogeneidad durante la transferencia y asegurar siempre integridad de la muestra en estos

procesos. Mezcle las muestras pequeñas con un agitador magnético, o utilice un método mecánico cuando la muestra contenga partículas magnéticas. En presencia de sólidos suspendidos, utilice pipetas con boca ancha.

La temperatura a la cual el residuo es secado es importante e interfiere en los resultados, debido a que la pérdida de peso por la volatilización de la materia orgánica, agua mecánicamente ocluida, agua de cristalización y gases de la descomposición química termo-inducida, como bien la ganancia de peso debido a la oxidación, dependen de la temperatura y el tiempo de calentamiento. Cada muestra requiere especial atención al desecarse después de secado. Minimice la apertura del desecador y tenga en cuenta que algunas muestras pueden requerir desecantes más fuertes.

El contenido de sólidos suspendidos totales se calcula como:

$$\text{Sólidos suspendidos totales, SST en mg/L} = \frac{(A-B) \times 1000000}{V}, \text{ donde:}$$

A= Peso Final (filtro+residuo), (g)

B= Peso Inicial (peso del filtro), (g)

V= Volumen de muestra filtrada, ml

6.8.5 Medición de Nitrógeno Total (N)

La determinación del contenido en nitrógeno de una muestra es de gran interés en el ámbito alimentario y medioambiental.

La determinación del Nitrógeno total se realizó por el **método SM 4500-NH3 y SM 4500-Norg. Método de nitrógeno Kjeldahl.**

Procedimiento

Este método se encuentra fundamentado en las siguientes etapas:

- Digestión de la muestra en medio ácido: en esta etapa tiene lugar la conversión de la mayoría del nitrógeno orgánico y amoniacal en ion amonio. La eficiencia del proceso de la digestión ha ido mejorando a lo largo de los años con la adición de sales inorgánicas para aumentar el punto de ebullición del ácido sulfúrico, la utilización de bloques digestores (introducida en 1970 por el químico sueco Roger Moosberg), la optimización del tiempo y temperatura de digestión y el uso de diferentes sustancias como catalizadores.
- Basificación y destilación de la muestra: en esta etapa se libera amoníaco, el cual es retenido en una disolución con una cantidad conocida de ácido o en una disolución de ácido bórico. Inicialmente se realizaba una destilación simple con un baño de vapor, aunque actualmente ha sido ya sustituida por una destilación por arrastre de vapor de agua, la cual permite disminuir considerablemente el tiempo de análisis.
- Valoración ácido-base: ésta puede ser una valoración por retroceso, si el amoníaco liberado ha sido recogido sobre una solución ácida, o una valoración directa, si el amoníaco liberado se ha recogido sobre una solución de ácido bórico. Inicialmente, el punto final de la valoración se detectaba mediante un cambio de color de un indicador; posteriormente, se introdujeron los valoradores automáticos con detección del punto final de la valoración por potenciometría.

6.8.6 Medición de fósforo total (P)

El Fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfaots condensados y fosfatos orgánicos. El análisis de fósforo envuelve dos pasos generales: (1) Conversión de la forma de fósforo de interés a ortofosfato disuelto; (2) determinación colorimétrica del ortofosfato disuelto.

Las formas de fosfato en una muestra pueden determinarse como total (sin filtración), disuelto (en el filtrado de una muestra pesada a través de un filtro de 0.45mm de diámetro de poro) y en suspensión (en el residuo de filtración si existe la suficiente cantidad de fósforo para garantizar tal consideración), y comprenden en cada caso: Fósforo Total (P): Todas las formas de fósforo presentes, se determina después de digestión con persulfato.

El método utilizado para la medición de Fósforo total fue el **SM 4500-C**.

Procedimiento

Para la determinación del fósforo total se realiza en primer lugar una digestión de la muestra con persulfato, con lo que se consigue la conversión de la forma fosforada en ortofosfato disuelto. Posteriormente se determina espectrofotométricamente el compuesto formado después de la adición de molibdato amónico, que en medio ácido forma un heteropoliácido que reacciona con el vanadio para dar un color amarillento.

6.8.7 Medición de Potasio

El método utilizado para la determinación del contenido de potasio fue el **Método de Espectrofotometría de absorción atómica por llama**.

Esta normativa técnica se usa para determinar potasio en aguas y efluentes industriales en el rango de 0,05 a 4,0 mg/L*, es posible determinar mayores o menores concentraciones por dilución o concentración de la muestra respectivamente.

Procedimiento

En el proceso de determinación del contenido de potasio, por medio de éste método, la muestra es digerida para reducir la interferencia por materia orgánica y convertir todo el metal a una forma libre determinable por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) a 769,9 nm.

El contenido de potasio se determina mediante una curva de calibración. Para muestras de agua con bajo contenido de sólidos en suspensión con una turbidez menor a 1 NTU no es necesario realizar la digestión (punto 8.1).

El proceso en general está dado por cuatro etapas: Digestión de la muestra, determinación de la curva de calibración, determinación directa y determinación por adiciones estándar.

6.8.8 Medición de Coliformes fecales

Para la medición de éstos microorganismos patógenos, se utilizó el **método SM/EPA 9221E: Método del Número más probable (NMP)**: Este es un método usado en los laboratorios para determinar la presencia de coliformes fecales y termotolerantes.

Procedimiento

Prepara los tubos de caldo lauril tríptosa (CLT) o caldo lactosado (CL) en concentración simple requeridos para la prueba y colóquelos en filas de 5 tubos. Tenga la precaución de que en el momento de iniciar la prueba no estén a la temperatura de refrigeración para que las inoculaciones de las porciones de 10 ml de muestra, use el CLT o el CL en concentraciones doble.

Proceda al marcado de los tubos. Para ello, anote el número designado por el laboratorio en la ficha de registro de exámenes, además del volumen seleccionado de muestra que va a ser inoculada y el día. Esta marcación podrá hacerse solamente en el primer tubo de la derecha en la primera fila. En los primeros tubos de la hilera siguientes se pueden simplificar las marcaciones. Para ello, se coloca sólo el volumen de la muestra inoculada. Identifique también los frascos de aguas de dilución.

Homogenice la muestra no menos de 25 veces. Para ello, incline el frasco formando un ángulo de aproximadamente 45° entre el brazo y el antebrazo.

Con una pipeta esterilizada de 10 ml y obedeciendo los cuidados de la asepsia, transfiera 10 ml de muestra a un frasco con 90 más o menos 2 ml de agua de dilución

temperada, anticipadamente identificado. Prepare así la primera dilución decimal (10^{-1}), sabiendo que un mililitro de ella corresponde a 0.1 mililitros de muestra.

Con la misma piqueta, siembre 10 ml de muestra en cada uno de los tubos de CLT de concentración doble, cuando este volumen sea requerido para la prueba.

Descarte la pipeta de 10 ml y con una pipeta de 5 ml, inocule un mililitro de muestra en cada uno de los 5 tubos correspondientes a estas cantidades de inóculo.

Homogenice el frasco con la primera dilución (10^{-1}) y con una nueva pipeta esterilizada, transfiera 10 ml de un frasco con 90 ± 2 ml de agua de dilución temperada. Se consigue así la segunda dilución decimal (10^{-2}), sabiendo que un mililitro de ella corresponde a 0.01 mililitros de muestra.

Proceda igual en las secuencias de diluciones deseadas.

Ordene los frascos con las diluciones; mantenga la secuencia decreciente de éstas (de mayor a menor dilución efectuada).

Agite vigorosamente 25 veces el frasco con la última dilución efectuada y, con una pipeta estéril de 5 ml, siembre un mililitro de dilución en cada tubo de CLT correspondiente a esta dilución.

Proceda de la misma forma sembrando desde la muestra más diluida a la más concentrada, utilizando la misma pipeta.

Después de la inoculación de todos los volúmenes de muestra en cada dilución requerida para el examen, coloque la incubadora de 35 ± 0.5 mililitros durante 24 ± 3 horas.

Después de este periodo de incubación, retire los tubos de la incubadora para efectuar la primera lectura de los resultados. Para ello, agite suavemente cada tubo y examine la producción de gas. Retire los tubos con resultado positivo (producción de cualquier cantidad de gas, retenida en el tubo Durham) y anote los resultados. Devuelva a la incubadora los tubos con resultados negativos por un período adicional de 24 ± 1 hora.

La segunda lectura (48 ± 3 horas) se hará en las mismas condiciones. Los tubos de CLT (o CL) con resultado positivo se separarán y los negativos se descartarán.

Para la realización del ensayo confirmativo, todos los tubos con resultado positivos en CLT (o CL) en las lecturas de 24 ± 2 horas y 48 ± 3 horas se someterán a la confirmación inmediatamente, después de las respectivas lecturas. Como procedimiento alternativo, cuando varias diluciones sembradas dan resultado positivo, se procede a la confirmación de la última serie de tubos con mayor dilución que presenten resultados positivos en todos los tubos de 24 ± 2 horas y en los tubos positivos de las series siguientes.

Descarte las series anteriores con resultado positivo, considera para ellas resultados confirmativo positivo.

Todos los resultados con resultado presuntivo positivo en 48 ± 3 horas se someterán a la confirmación. Este procedimiento alternativo, se aplicará a muestras de agua potable o residual, en relación con las cuales se tiene comprobación anterior consistente sobre la confirmación de los resultados presuntivos positivos.

El ensayo confirmativo se efectuará por medio del caldo lactosado verde brillante (CLVBB) para determinación de coliformes totales y caldo EC para determinación de coliformes termotolerantes (Fecales).

6.8.9 Medición de Oxígeno Disuelto

La concentración de oxígeno disuelto es importante para la evaluación de la calidad de aguas superficiales y el control de procesos de tratamiento de aguas residuales. Puede estar asociada con la corrosividad del agua, actividad fotosintética y septicidad. Su determinación se usa en la prueba de DBO. Generalmente, el oxígeno disuelto no es determinado en aguas potables ni en aguas residuales crudas.

El método de determinación de oxígeno disuelto utilizado fue el **SM EPA 4500-O: Método Winkler o Método Yodométrico**. Éste consiste en un procedimiento de titulación basada en la propiedad oxidante del Oxígeno Disuelto.

Procedimiento

Una solución de sal manganosa seguida por un alcalino fuerte, se añade a la muestra de agua contendida en un frasco de vidrio con tapa; el frasco debe estar completamente lleno de muestra. El hidróxido manganoso precipita y rápidamente se combina con el oxígeno presente en la solución, formando hidróxidos de estados de oxidación más altos. En presencia de yoduro y con acidificación subsiguiente los hidróxidos de manganeso de mayor estado revierten al estado divalente, y liberan yodo en cantidad equivalente al contenido original de oxígeno disuelto en la muestra. El yodo liberado es entonces titulado con una solución estándar de tiosulfato de sodio.

Existen algunas interferencias en la determinación del contenido del oxígeno disuelto real en una sustancia. Las interferencias son causadas por ciertos agentes oxidantes que liberan yodo de ioduros, por ciertos agentes que reducen el yodo a yoduro (compuesto ferroso, tiosulfato, sulfito y materia orgánica fácilmente oxidable) bien sea en solución o en suspensión. Algunos compuestos orgánicos impiden el asentamiento del precipitado, algunos disfrazan el punto final de la titulación por su color. Flóculos biológicos tales como la mezcla de lodos activados pueden tener tasas de utilización de oxígeno muy altas y entonces bajan rápidamente la concentración de oxígeno disuelto. Se usan varias modificaciones para minimizar el efecto de materias interferentes.

En la fórmula dada abajo se ha tenido en cuenta el ligero desplazamiento de la muestra por los reactivos sulfato y ioduro alcalino, los cuales contienen muy poco oxígeno disuelto.

$$\text{Contenido de oxígeno disuelto} = \frac{\text{Volumen de tiosulfato } 0.0125N \text{ (ml)} \times 101.6}{\text{Volumen titulado (ml)}} \text{ mg/l}$$

VII. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

7.1 Diseño de Biojardineras

De acuerdo al desarrollo de los cálculos en el diseño de las biojardineras, se obtuvieron los siguientes dimensionamientos para cada unidad de acuerdo a las características del caudal de influente.

Tabla 13. Dimensiones de diseño de Biojardineras

Unidad	Ubicación	Largo, m	Ancho, m
BJ001	Bº 05 de Julio abajo	2.50	1.20
BJ002	Bº 05 de Julio arriba	5.00	1.40
BJ003	Los Campos	5.10	1.50

Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O / Portobanco, F.

Estas dimensiones fueron diseñadas para obtener un tiempo de retención ideal en el cual los procesos de saneamiento y/o depuración de contaminantes por medios físicos, químicos y biológicos, lograsen accionar en las aguas grises de manera eficiente. En todo momento fue considerado el factor económico, de manera tal, que las dimensiones obtenidas, resultaran en un sistema que cumpliera con las expectativas de funcionalidad, a costos accesibles para personas con bajo poder adquisitivo.

Según la tablas 10 y 11, el costo directo promedio de las unidades de biojardinera asciende a un monto de C\$ 19,560.18 (\$693.62, a un factor de cambio de C\$28.20/\$ a la fecha).

En este monto se incluye los costos de mano de obra; sin embargo, si se toma en cuenta la sencillez en la construcción de éste tipo de tecnologías, en el que no existen exigencias técnicas, rígidas y complicadas; se dice, que este costo directo, puede ser asumido por las personas que adquieran el sistema. Por tanto, si se excluye el promedio de mano de obra de las unidades construidas, al monto antes mencionado; se obtiene que, los costos directos se ven reducidos hasta en un 18.47% (C\$3,612.76),

resultando en un nuevo costo de construcción en el rango de los C\$15,947.42 (\$565.51).

Comparando éste costo contra el de la construcción de una tecnología convencional, como los tanques sépticos. Entonces, se puede apreciar con mayor ahínco el bajo costo de las biojardineras. En el anexo 7 se muestra una oferta económica por la construcción de un tanque séptico de dimensiones 3.25x1.25x h: 2.50 m construido en una residencia en donde habita una familia de 4 personas. El costo de este sistema asciende a los C\$ 67,891.04 (\$2,407.48), que es equivalente al 347% del valor promedio que se obtuvo en la construcción de las unidades demostrativas de Biojardinera.

Cabe mencionar, que a estos costos se le suman también los cargos destinados al mantenimiento de los sistemas, en donde es necesario contratar equipo y mano de obra especializada para vaciar el tanque séptico de las aguas y lodos retenidos. No se recomienda, que los propietarios realicen este mantenimiento por su cuenta, ya que al igual que la construcción, estos procesos requieren de personal capacitado y vasto en conocimiento en la construcción e instalación de éstos sistemas.

En cuanto a las biojardineras, el mantenimiento puede estar asistido por las mismas personas poseyentes del sistema. Esto lo hace un sistema muy versátil en comparación con otras tecnologías convencionales.

7.2 Estudios de Laboratorio

Los análisis a los que fueron sometidos las muestras de afluente y efluente del sistema de Biojardinera, son de carácter físico, químico y microbiológico. En la tabla se muestran los valores obtenidos en los estudios.

Tabla 14. Valores obtenidos de parámetros en estudio.

PARÁMETROS	Muestreo 01 Efluentes		Muestreo 02 Efluentes		Muestra Afluente	Valor Promedio Efluentes	
ELEMENTO DE ESTUDIO	BJ002	BJ003	BJ002	BJ003	AAC001	BJ002	BJ003
Potencial de Hidrógeno, pH	6.87	6.60	7.09	7.57	6.70	6.98	7.09
Temperatura, °C	28.00	27.00	28.20	25.30	28.00	28.10	26.15
DQO, mg/l	155.74	150.82	126.31	70.68	521.32	141.03	110.75
DBO, mg/l	74.00	97.00	71.00	55.00	336.00	72.50	76.00
Sólidos Suspendidos Totales, mg/l	25.90	53.10	21.80	10.90	144.70	23.85	32.00
Nitrógeno Total, mg/l	5.69	11.57	10.45	1.30	7.84	8.07	6.44
Fósforo Total, mg/l	0.55	0.38	0.65	1.09	0.71	0.60	0.73
Potasio, mg/l	2.99	3.27	1.73	1.75	3.01	2.36	2.51
Coliformes Fecales, NMP/100 mg	7.0×10^5	3.5×10^6	7.9×10^4	7.9×10^4	1.6×10^7	3.9×10^5	1.8×10^6
Oxígeno disuelto, mg/l	0.60	-	2.20	-	<0.1	0.60	2.20

Fuente: Elaboración Propia, Guerrero, O / Portobanco, F.

Tabla 15. Análisis de Resultados según Decreto 33-95

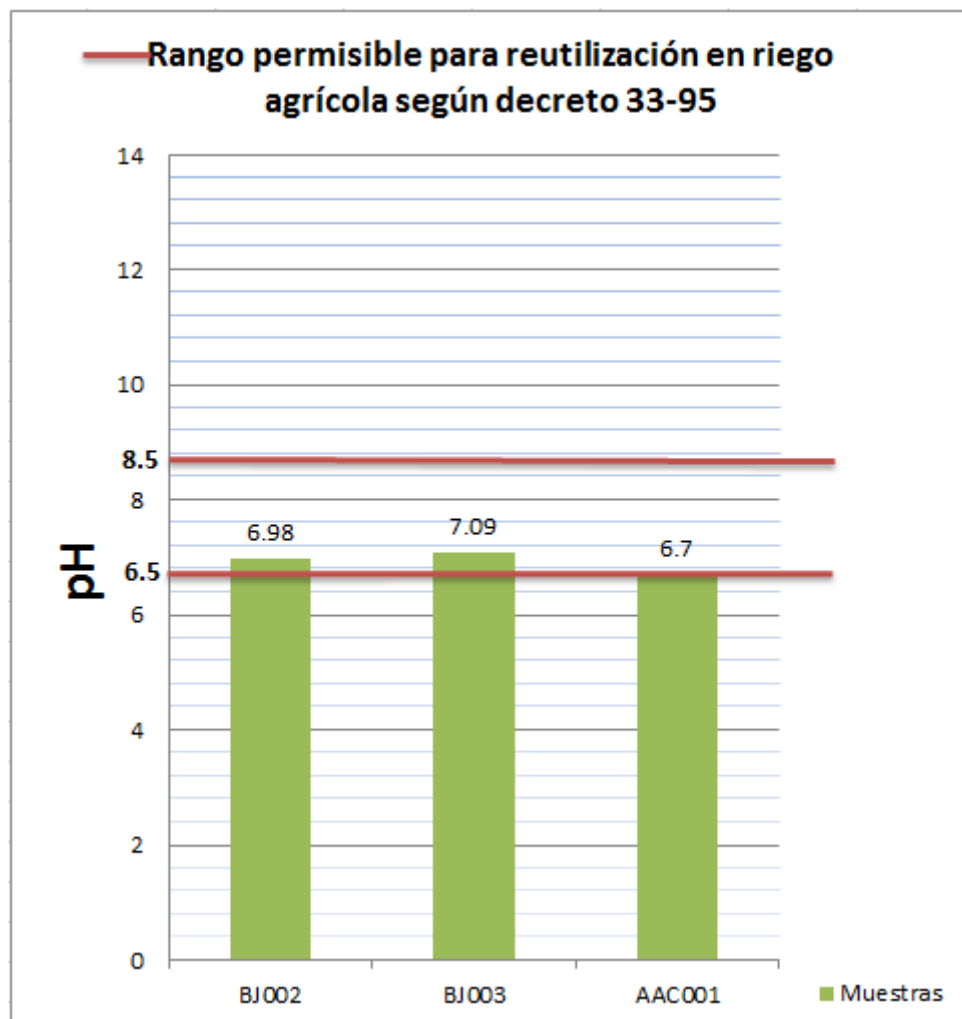
PARÁMETRO ESTUDIADO	VALORES OBTENIDOS							Valores Máximos Permisibles	SEGÚN LA NORMA		EFICIENCIA	
	Efluente 01			Efluente 02			Afluente		Efluente 01	Efluente 02	Efluente 01	Efluente 02
	Muestra 01	Muestra 02	Promedio	Muestra 01	Muestra 02	Promedio	Muestra 01					
Ph	6.87	7.09	6.98	6.60	7.57	7.09	6.70	6.5-8.5	CUMPLE	CUMPLE	-	-
Temperatura, °C	28.00	28.20	28.10	27.00	25.30	26.15	28.00	50.00	CUMPLE	CUMPLE	-	-
DBO ₅ , mg/l	74.00	71.00	72.50	97.00	55.00	76.00	336.00	120.00	CUMPLE	CUMPLE	78%	77%
DQO, mg/l	155.74	126.31	141.03	150.82	70.68	110.75	521.32	200.00	CUMPLE	CUMPLE	73%	79%
Sólidos Suspendidos Totales, mg/l	25.90	21.80	23.85	53.10	10.90	32.00	144.70	120.00	CUMPLE	CUMPLE	84%	78%
Nitrógeno Total, mg/l	5.69	10.45	8.07	11.57	1.30	6.44	7.84	NE	NE	NE	-3%	18%
Fósforo Total, mg/l	0.55	0.65	0.60	0.38	1.09	0.73	0.71	NE	NE	NE	15%	-3%
Potasio, mg/l	2.99	1.73	2.36	3.27	1.75	2.51	3.01	NE	NE	NE	22%	17%
Coliformes Fecales, NMP/100mg	7.0x10 ⁵	7.9x10 ⁴	3.9x10 ⁵	3.5x10 ⁶	7.9x10 ⁴	1.8x10 ⁶	1.6x10 ⁷	≤5x10 ³	NO CUMPLE	NO CUMPLE	97%	89%
Oxígeno disuelto, mg/l	0.60	-	0.60	2.20	-	2.20	<0.1	NE	NE	NE	600%	2200%

Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O / Portobanco, F

De acuerdo a la tabla anterior, los valores físicos y microbiológicos respecto a nutrientes son satisfactorios respecto al porcentaje de depuración de estos parámetros, y cumplen con los valores máximos contemplados en el decreto 33-95 “Disposiciones para el control de contaminación proveniente de descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias”. Sin embargo, el contenido de coliformes fecales obtenidos en el influente es elevado en consideración a la tipología de aguas residuales que se están estudiando, que en teoría, debido a que es agua gris del tipo jabonoso, no debería tener presencia tan pronunciada de coliformes fecales. A continuación se detalla el análisis de los resultados para cada uno de los parámetros.

7.3 Potencial de Hidrógeno (pH)

De acuerdo a la tabla de resultados, el valor de pH obtenido en el influente del sistema fue de **6.70**; y los valores promedios obtenidos en dos muestras recolectadas en los efluentes de BJ002 y BJ003 fueron de **6.98** y **7.09** respectivamente. Cabe destacar que según se muestra en la figura 7 y según el rango de valores normales para cursos de aguas según el decreto 33-95, estos valores se encuentran dentro del rango de entre 6.5-8.5. Si analizamos de manera comparativa el valor de entrada y los valores de salida, podemos observar un aumento de la alcalinidad de las aguas del efluente, que de acuerdo a la literatura, puede ser asociada a diversos procesos desarrollados en la Biojardinera como la amonificación, desnitrificación, nitrificación y metanogénesis.

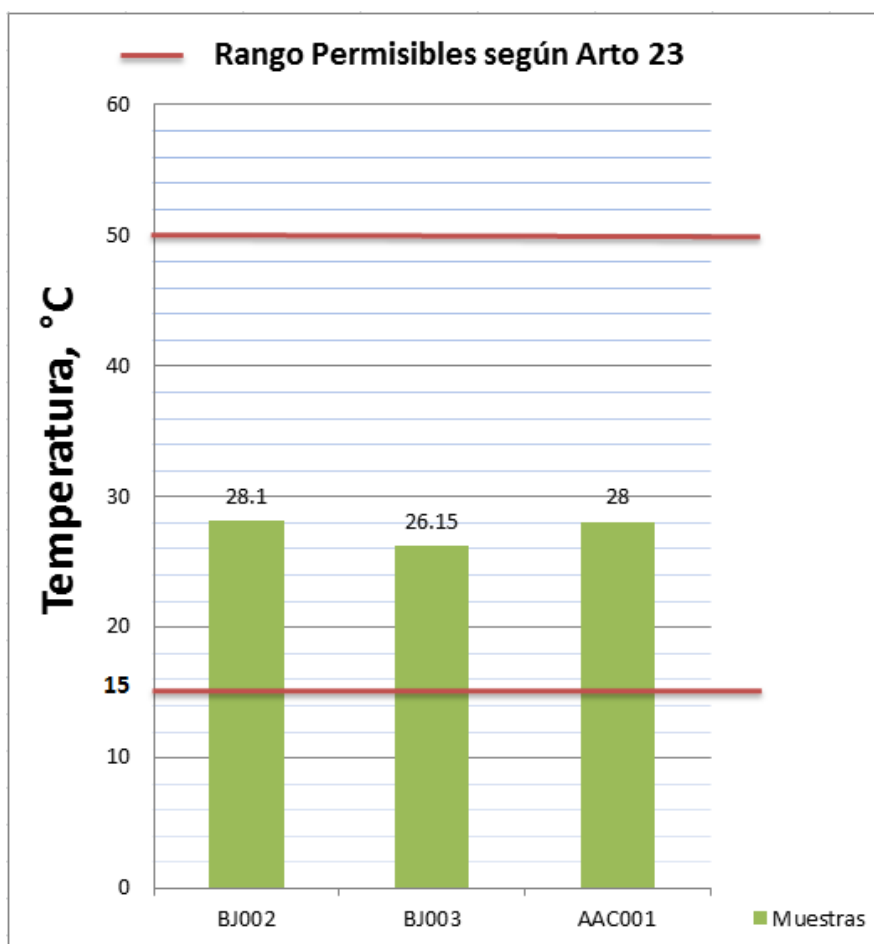


Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O/ Portobanco, F.

FIGURA 8. Valores de pH obtenidos en análisis.

7.4 Temperatura

Según los valores obtenidos en las campañas de muestreo, se puede observar que éstos se encuentran dentro de los rangos permisibles, no habiendo cambios drásticos y significativos en la temperatura.



Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O/ Portobanco, F.

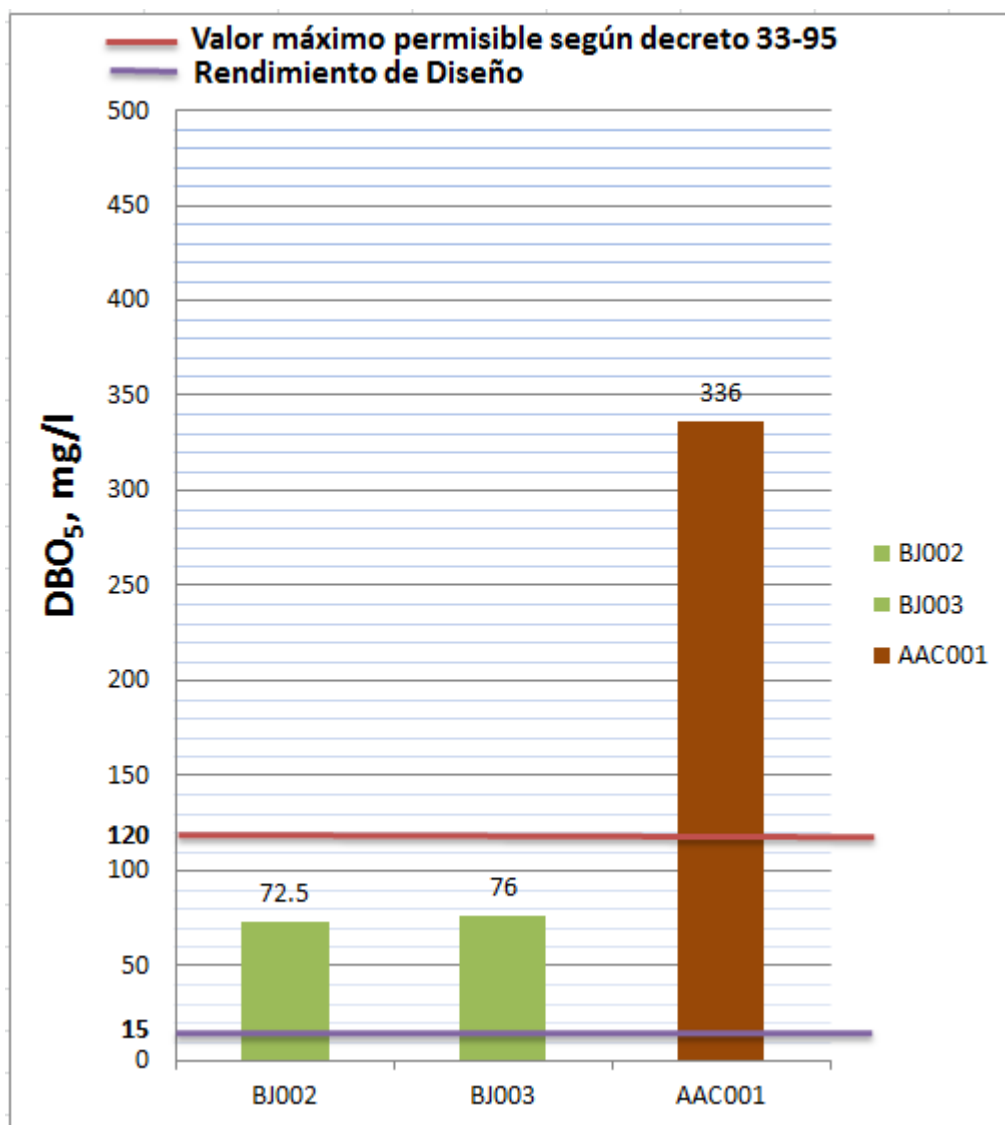
FIGURA 9. Valores de Temperatura obtenidos en análisis.

7.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Podemos observar en la tabla 10, Tabla de análisis de los resultados, que se obtuvo una reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de 78% y 77% en los valores medios del efluente de las biojardineras BJ002 y BJ003, con respecto al valor del influente. Sin embargo, la remoción proyectada fue de 96%, por tanto, los valores obtenidos no proyectan lo esperado de acuerdo al diseño; no obstante, cumplen con los valores mínimos permisibles en el decreto 33-95.

Es de gran importancia destacar que en el sistema las concentraciones de DBO₅ no llegarán a ser cero, debido a que en la biojardineras siempre existe una concentración de fondo de materia orgánica, ya que los mismos sistemas generan materia orgánica proveniente de restos de plantas y acumulación de partículas.

Por otra parte, el índice de biodegradabilidad real (DBO/DQO) es de $336/521.32 = 0.64$, por tanto el valor considerado en el diseño, de 0.65, es muy cercano al índice real: la materia orgánica del influente es muy biodegradable. Esto se traduce a decir, que existen factores que están afectando el proceso de remoción de DBO, que puede ser imputado a las concentraciones de materia orgánica de fondo, mal manejo o falta de mantenimiento del sistema.



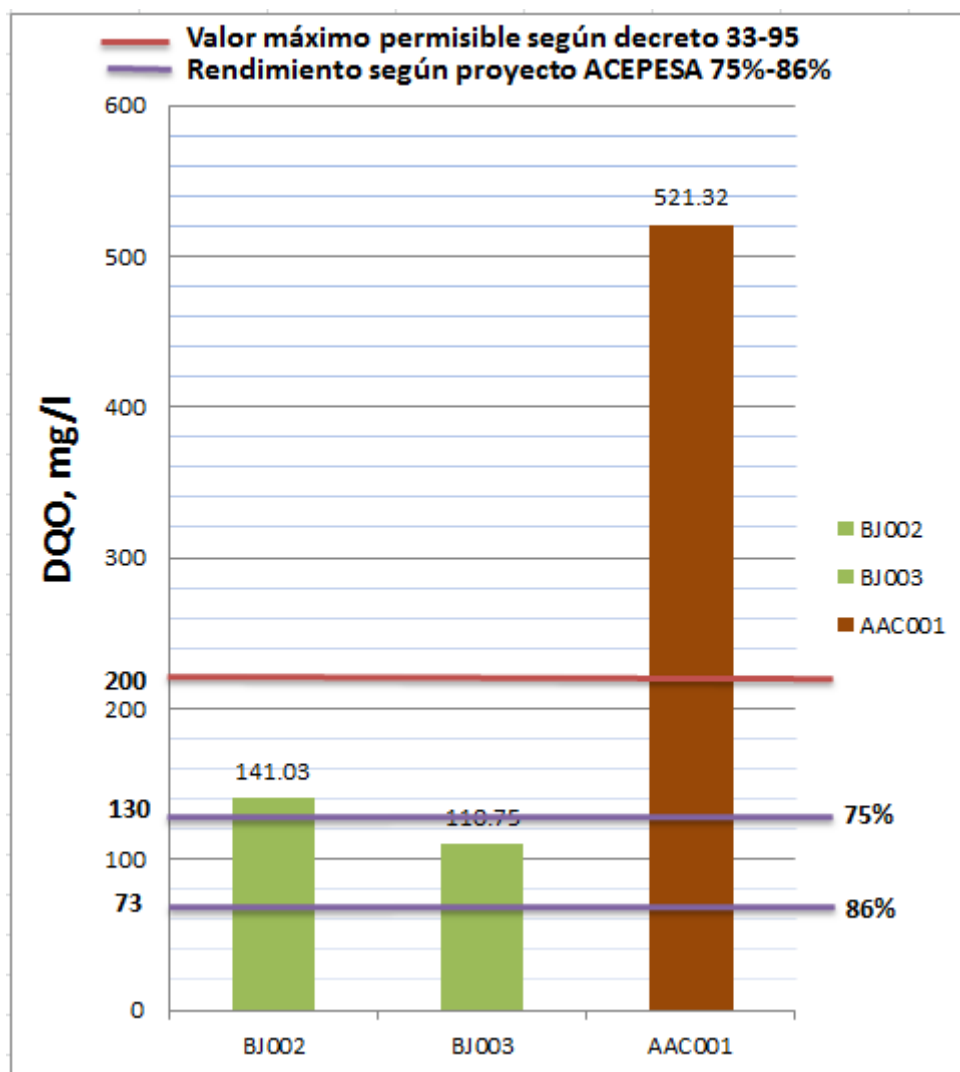
Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O/ Portobanco, F.

FIGURA 10. Valores de DBO₅ obtenidos en análisis.

7.6 Demanda Química de oxígeno (DQO)

De igual manera, que sucedió en el contenido de DBO₅, la DQO promedio obtenida en los efluentes de cada unidad demostrativa, cumplen con los valores mínimos contemplados en la norma de vertido, mostrándose muy por debajo de ellos y las eficiencias resultantes respecto al valor inicial del influente fueron de 73% y 79% para la BJ002 y BJ003 respectivamente. En este caso particular, el parámetro de eficiencia de la remoción de éste agente, se validará en base a los estudios realizados en un proyecto de investigación y evaluación de humedales artificiales, impulsado por ACEPESA (Asociación Centroamericana para la economía, la salud y el ambiente), en donde se construyó inicialmente un sistema a escala piloto con el fin de investigar su viabilidad técnica y económica en las regiones tropicales de Centroamérica. El monitoreo duró 5 años, y proporcionó una amplia base de datos que han permitido conocer el comportamiento de estos sistemas bajo condiciones tropicales. Los porcentajes de remoción obtenidos en este estudio fueron entre 89% y 95% para DBO₅, 75% y 86% para DQO, 21% y 39% para Nitrógeno T., 6% y 19% para Fósforos T., 52% y 73% para Sólidos Suspendidos y de 97% para E.Coli.

En la tabla 14, se muestran los valores obtenidos en el influente y efluentes de los sistemas construidos. Al igual que en la DBO₅, las concentraciones en el efluente no llegan a ser cero, debido a la existencia de una concentración de fondo de materia orgánica. En cuanto al rango de eficiencia contemplado por el proyecto de ACEPESA, la Biojardinera BJ002 no cumple, por poco, los valores de eficiencia estimados; caso contrario, la eficiencia de la BJ003 si se encuentra dentro de los valores estimados.



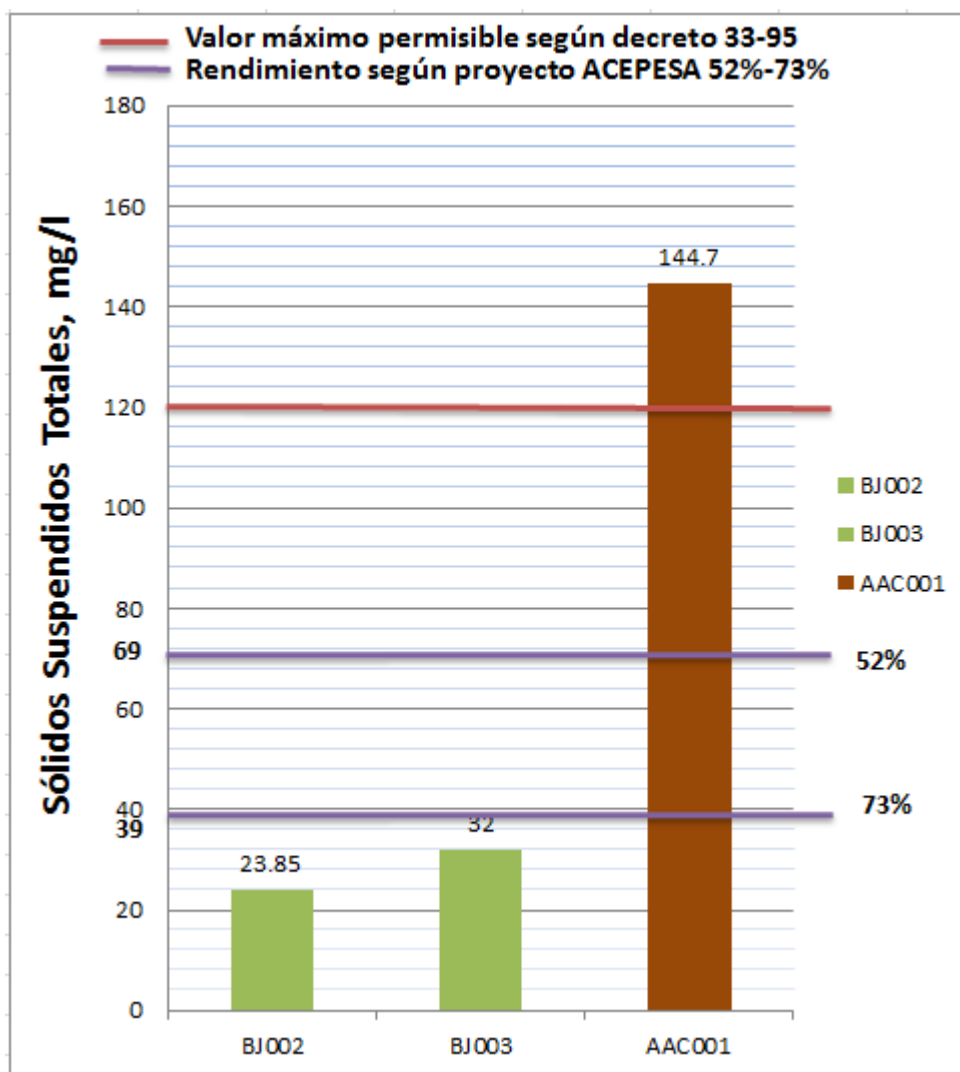
Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O/ Portobanco, F.

FIGURA 11. Valores de DQO obtenidos en análisis.

7.7 Sólidos Suspendidos Totales

La materia sólida en el afluente y efluente de las biojardineras, se midió como sólidos suspendidos totales (mg/l), En general, gran parte de esta fue removida o retenida en las unidades de pre tratamiento, decantándose en el fondo de los recipientes o bien suspendiéndose en la superficie del espejo de agua. El resto quedó retenido en la Biojardinera debido a las constricciones del flujo producidas por el medio granular, la baja velocidad del agua y por la fuerza de adhesión de las partículas.

La eficiencia en la remoción de este parámetro resultó en 84% y 78% para las unidades BJ002 y BJ003 respectivamente. Valores que se ven mejorados respecto al rango de eficiencia estimado por ACEPESA, que se encuentra en el orden de 52-73% de eficiencia en la remoción de Sólidos suspendidos totales.



Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O/ Portobanco, F.

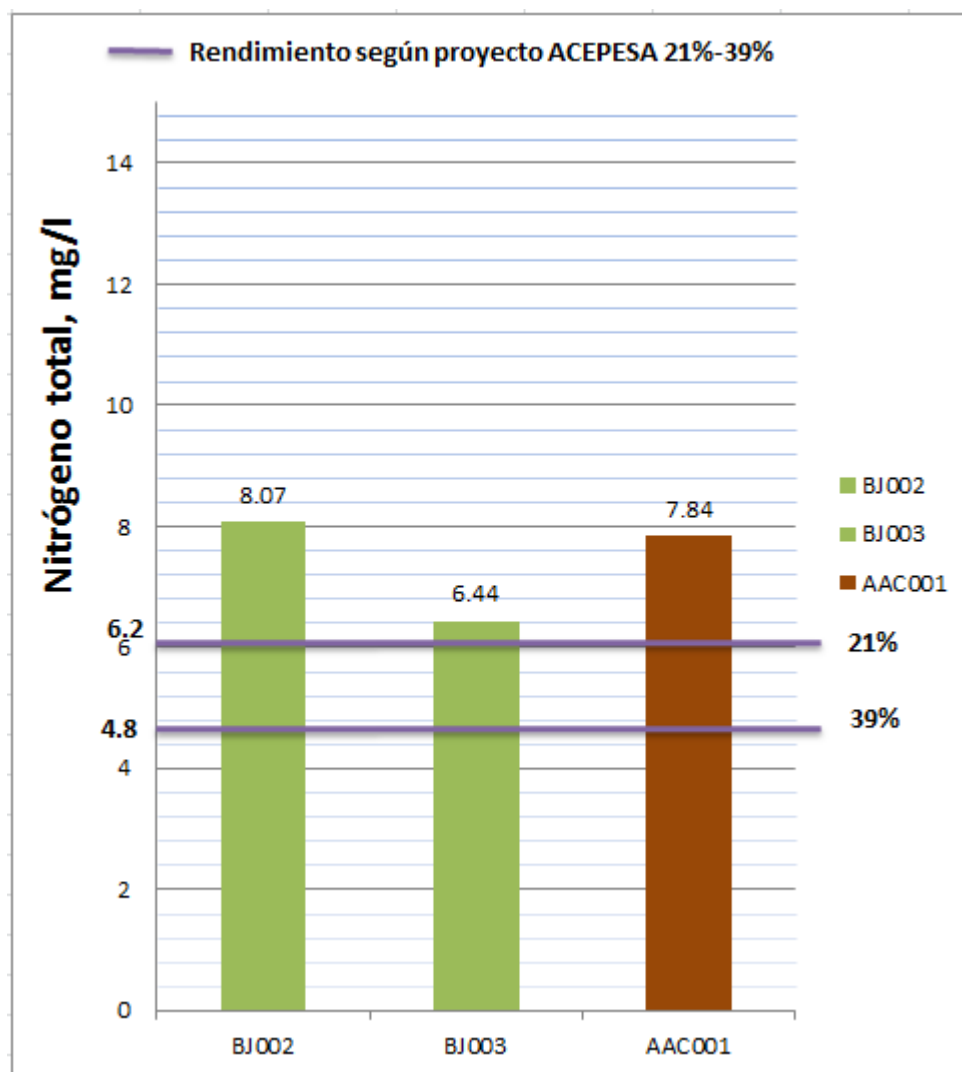
FIGURA 12. Valores de Sólidos suspendidos totales obtenidos en análisis.

7.8 Nitrógeno Total

Como se puede observar en la figura 13, las concentraciones de nitrógeno total del efluente experimentaron negativa y poca remoción en las unidades BJ002 y BJ003 respectivamente. Y según los valores estimados de eficiencia de remoción de acuerdo a ACEPESA, en ambos casos no se alcanzó, ni el valor mínimo del rango estimado.

En el caso del rendimiento negativo obtenido en la unidad BJ002, se debe a un incremento del nitrógeno orgánico y/o nitrógeno amoniacal. Que se encuentra asociado a la materia en suspensión presente en el agua residual, por tanto, la remoción de éste se da en gran parte por su eliminación. La descomposición o mineralización es otra vía por la cual se remueve el nitrógeno orgánico, a pasar a su forma amoniacal. Sin embargo, los residuos de descomposición de especies vegetales u otros materiales orgánicos en el sistema, puede producir una descarga estacional de este compuesto. Sumándose a ésta condición, podemos considerar los hábitos de las personas durante el baño, ya que la orina, es una fuente principal de nitrógeno. Estas dos condiciones, podrían ser las causantes del aumento del nitrógeno orgánico.

En cuanto al nitrógeno amoniacal, la principal vía de remoción en las biojardineras, la constituye la nitrificación biológica seguida por la desnitrificación, sin embargo, el oxígeno condiciona o limita el primer proceso. Si la disponibilidad del mismo es limitada, la capacidad de eliminación de amonio se reduce. Por tanto, los bajos o negativos rendimientos del sistema en cuanto a la remoción de nitrógeno se refiere, podría estar vinculada a la falta de oxígeno en el medio, predominando las condiciones anaerobias.

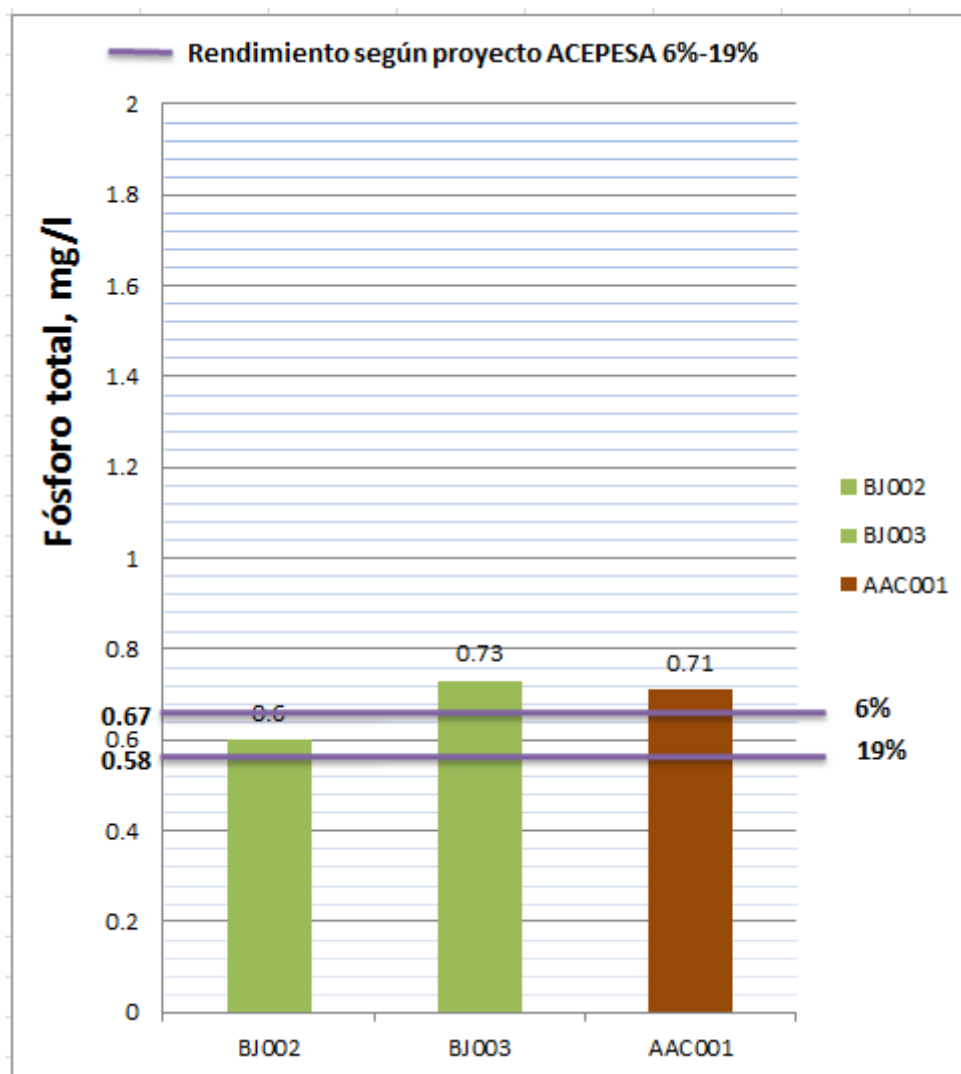


Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O/ Portobanco, F.

FIGURA 13. Valores de Nitrógeno Total obtenidos en análisis.

7.9 Fósforo Total

El contenido de Fósforo se ajusta a los valores estimados por ACEPESA para la unidad de BJ002, sin embargo, experimenta un aumento en la unidad BJ003, como se observa en la figura 14. El aumento de este contaminante puede estar dado por el aporte de los residuos vegetales, que al no ser retirados del sistema, pueden introducir fósforo nuevamente a la Biojardinera. Es importante tomar en consideración, que los muestreos se realizaron durante el invierno, las lluvias pueden alterar el tiempo de retención hidráulica, al aumentar el volumen dentro del sistema, por tanto, los detergentes contenidos en las aguas grises, que son una fuente principal de fósforos, no logran ser procesados adecuadamente en el proceso de depuración de éste parámetro; por ello, no se muestra una óptima eficiencia, no sólo en este caso, que esta situación afecta, la eficiencia en el proceso de depuración de contaminantes de manera general.

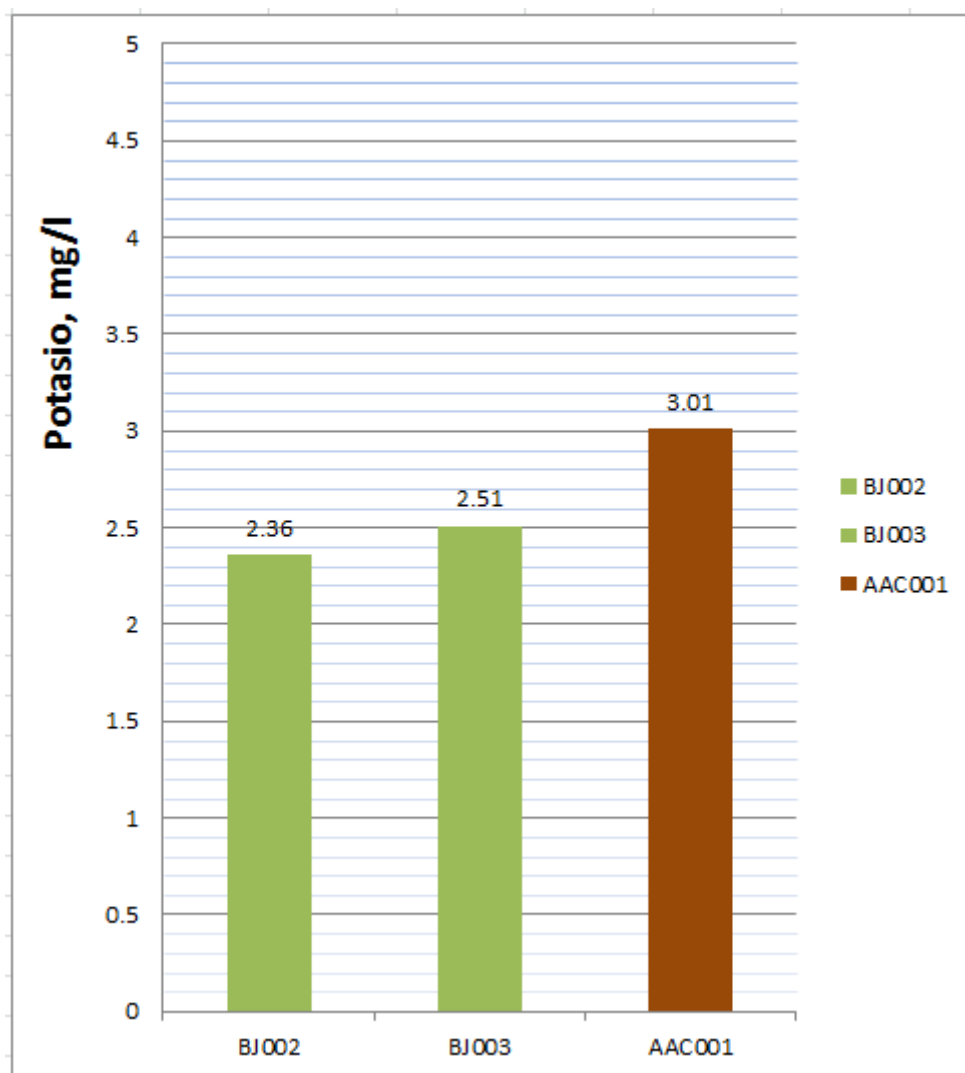


Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O/ Portobanco, F.

FIGURA 14. Valores de Fósforo Total obtenidos en análisis.

7.10 Potasio

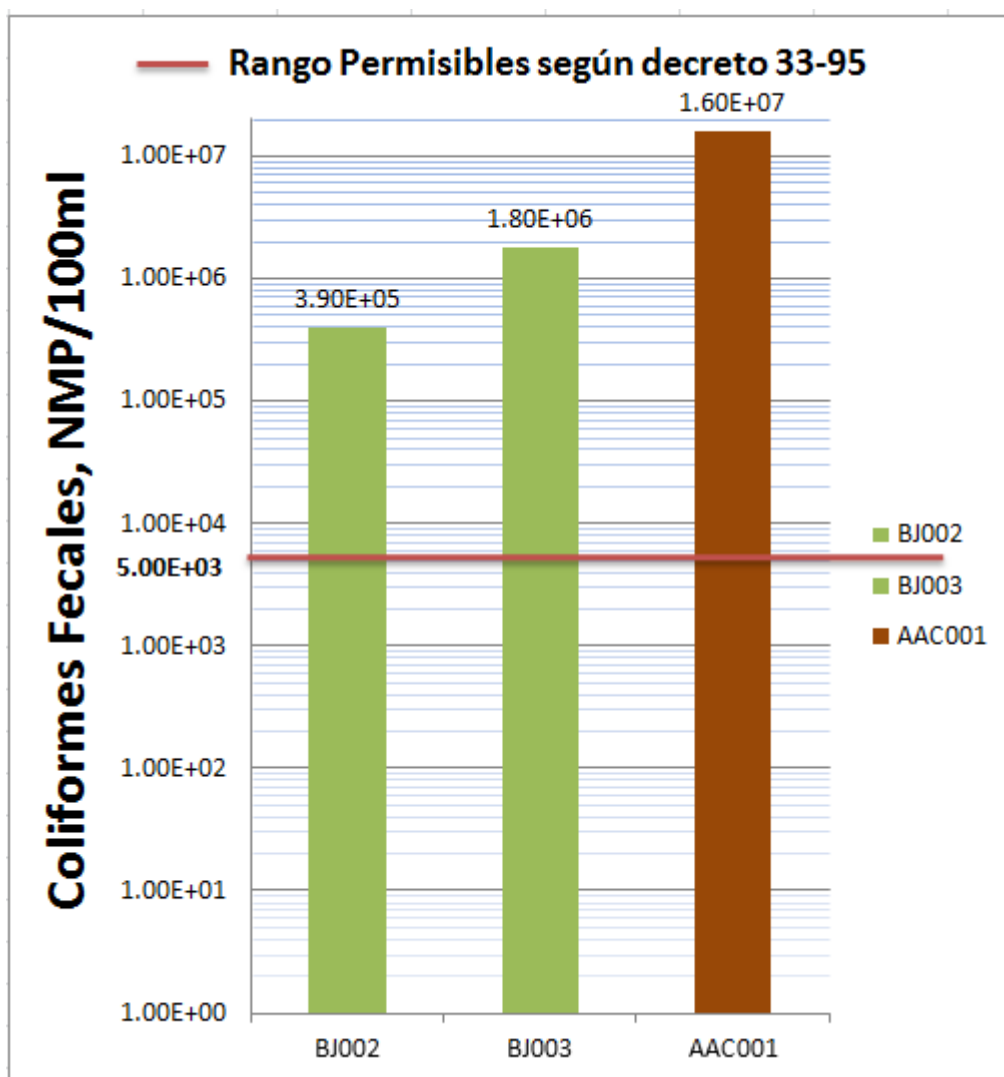
De acuerdo a los datos obtenidos, el sistema depuró un porcentaje de contenido de potasio a las aguas grises, con eficiencias de 22% y 17%.



Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O/ Portobanco, F.

FIGURA 15. Valores de Potasio obtenidos en análisis.

7.11 Coliformes Fecales



Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O/ Portobanco, F.

FIGURA 16. Valores de Coliformes Fecales obtenidos en análisis.

Como se puede observar en la figura anterior, la depuración o eliminación de los microorganismos coliformes fecales, está dada por eficiencias de 97% y 89%, que de acuerdo a los valores estimados para efluentes según ACEPESA, cumple con el valor

porcentual en el primer dato, correspondiente a la unidad BJ002; no obstante, el segundo valor está por debajo del esperado, bajo este contexto.

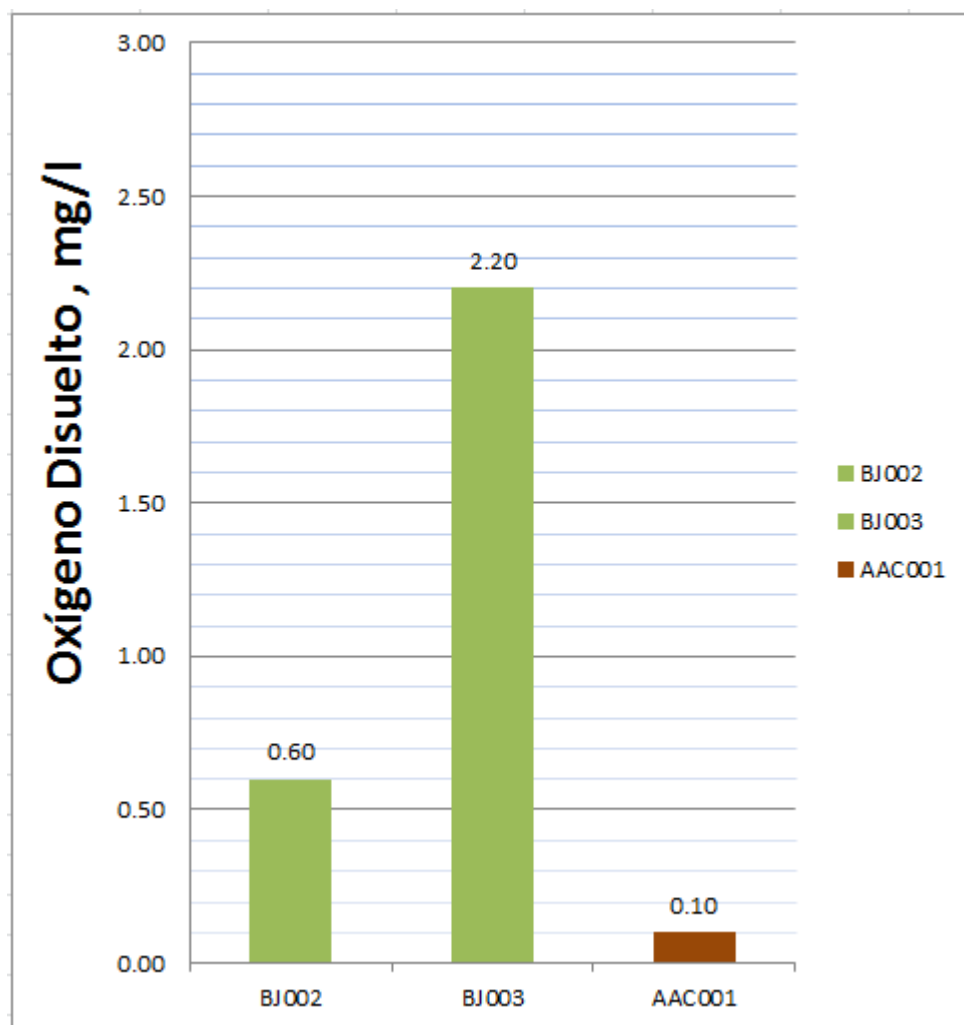
Sin embargo, cuando comparamos con el valor máximo permisible, que contempla el decreto 33-95, los valores obtenidos en los efluentes, se encuentran con contenido de coliformes fecales que sobrepasan los valores admisibles.

Teóricamente, es de esperarse que cuando se refiere a aguas grises, el contenido de coliformes fecales debería ser ínfimo. Sin embargo en condiciones reales, hay una serie de factores y/o situaciones que propician a la inyección de contenido de coliformes fecales al agua que pasa por el sistema; tales como: lavado de alimentos crudos, lavado de manos ocasional en lavaplatos, lavado de la zona anal durante el baño, lavado de ropa interior y/o pañales de bebés o inclusive deposición de excremento animal, dado que la biojardinera se encuentra a la intemperie.

Además, la literatura reporta que algunos de los denominados Coliformes fecales, no son específicamente de contaminación fecal y que incluso, organismos como E. Coli, pueden crecer en ambientes acuáticos naturales por lo que se podrían encontrar, en algunas ocasiones, organismos indicadores de forma natural en este tipo de sistemas.

7.12 Oxígeno Disuelto

En la figura 17 se muestran los resultados obtenidos en la prueba para la determinación de oxígeno disuelto, donde se puede observar un incremento en la concentración de oxígeno presente en las muestras respecto al afluente, comprobándose que existe una inyección de oxígeno por parte de la acción de las raíces de las plantas. Sin embargo, como anteriormente se había citado, éste valor de concentración de oxígeno disuelto en los efluentes, podría haber estado bajo algunas interferencias como la presencia de alto contenido de materia orgánica en procesos de oxidación biológica, que requieren altas tasas de oxígeno disuelto para su óptimo desarrollo; por tanto, la concentración del oxígeno real en el efluente se ve un poco empañada, siendo ésta aún mayor. La norma no especifica ningún valor al respecto.



Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O/ Portobanco, F.

FIGURA 17. Valores de Oxígeno Disuelto obtenidos en análisis.

7.13 Otros parámetros de calidad

Otros parámetros como el color, el olor, la turbiedad, son valores que no fueron llevados a evaluarse en el laboratorio, ya que éstos son fácilmente perceptibles. Las

muestras colectadas en la salida, muestran que existe una clara mejoría en estos parámetros.

El agua del influente es un agua, con gran cantidad de sólidos suspendidos, turbia, de color gris oscuro y presenta un olor fuerte a detergente y residuos orgánicos. Por su parte, el agua del efluente, presenta una tonalidad de gris más clara y tenue, y el olor es menos fuerte. En la siguiente figura se muestra la diferencia entre las aguas del afluente y las aguas salientes del sistema.



Fuente: Elaboración propia, Guerrero, O/ Portobanco, F.

FOTO 35. Comparativo de agua de entrada y salida del sistema

NOTA: La Biojardinera BJ001, no fue considerada en el análisis de los parámetros de calidad de las aguas en el efluente, debido a que las plantas que se utilizaron (Platanillo), presentaron problemas en el funcionamiento del sistema, generando malos olores, por lo que dos semanas antes de los muestreos fue necesario cambiar las plantas, reemplazándose por Vetiver. Considerando que ésta nueva planta instalada en la Biojardinera tiene que pasar su proceso de maduración y adaptación en el sistema, se concluye que los datos que se podían obtener no serían representativos.

VIII. CONCLUSIONES

En conformidad a los datos obtenidos, las situaciones particulares presentadas en cada unidad demostrativa durante los procesos de formulación, diseño, construcción, monitoreo y evaluación de la eficiencia; y las normas que regulan el vertido y reúso de aguas tratadas mediante sistemas como biojardineras; se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- El sistema de Biojardinería en estudio cumple satisfactoriamente el proceso de depuración de DBO_5 , DQO y sólidos suspendidos totales; sin embargo, no muestra la misma eficiencia en el caso de la remoción de nutrientes como el fósforo, nitrógeno y potasio; no obstante, los porcentajes de remoción se aproximan bastante a los rangos y valores estimados por los estudios realizados por ACEPESA a éste tipo de sistemas.
- Se deduce que existe en las biojardineras una ausencia o baja disponibilidad de oxígeno que limita el proceso de nitrificación para la remoción de nitrógeno total, disminuyendo su eficiencia o capacidad de eliminación de éste contaminante en particular; y de los otros contaminantes del tipo nutrientes. Esto debido a que el proceso de descomposición biológica de la materia orgánica requiere de un alto contenido de oxígeno para su desarrollo, por lo que disminuye la disponibilidad de oxígeno para los otros procesos que son un poco más lentos y requieren un mayor tiempo de retención.
- En el caso de la Biojardinería BJ002, el caudal de entrada fue subestimado, debido a que la señora, dueña del hogar, se dedica actualmente al lavado de ropa ajena, que distorsiona en gran medida los valores de entrada y salida del sistema, inclusive los tiempos de retención hidráulica que se encuentran intrínsecamente ligados al caudal de diseño.

- Durante el monitoreo que se ha realizado en el proceso de maduración de las plantas, se pudo observar que la remoción de grasas y sólidos en los pretratamientos y tubo de entrada a las biojardineras se realizan con baja frecuencia; y ésta situación, afecta o incide directamente en la eficiencia del sistema. Además, en un futuro esto podrían ser causa de problemas de colmatación en el medio granular.
- Existen algunos factores externos que afectan directamente el trabajo de eliminación de contaminantes del sistema como son: las precipitaciones, la deposición de excremento animal sobre el medio granular, el cual es disuelto en las aguas cuando llueve; la saturación de residuos orgánicos generados por las plantas sembradas en el medio granular y/o por frutos que caen sobre el biofiltro; falta de mantenimiento de los distintos componentes del sistema; y los hábitos de higiene de los usuarios.
- Se observó una clara aceptación del sistema por parte de los usuarios, y un cambio de las condiciones sanitarias de cada uno de los sitios en donde fueron emplazadas las tecnologías, como: eliminación de charcas, que a la vez eran criaderos de zancudo; mejoría en la apariencia del lugar, al incluir un sistema que a la vez simula un elemento ornamental; eliminación de malos olores provocados por el vertido libre de las aguas grises en la situación ante proyecto; y un ahorro sustancial del agua, al realizar un reúso de la misma, que se traduce en un ahorro a la economía de las familias que poseen el sistema.
- En base a la práctica, pudimos certificar que los procesos de construcción de los sistemas no son complejos ni costosos, relativamente, en comparación a otras infraestructuras hidráulicas convencionales.
- En términos generales, las personas lograron comprender, mediante la comparación antes-después, la diferencia entre una buena y una mala disposición de las aguas grises. Esta tecnología no convencional apunta a

brindar una alternativa de solución a la problemática de vertido inadecuado de las aguas grises, acorde a la realidad socio-económica del país.

- Según los datos obtenidos la planta Ginger tiene mayor incidencia en la remoción de contaminantes; sin embargo, la diferencia con Vetiver es ínfima.

IX. RECOMENDACIONES

En base a las consideraciones concluyentes, recomendamos:

- Analizar la eficiencia de las plantas en la transferencia de oxígeno a la Biojardinera.
- Evitar en la medida de lo posible, la tributación de agua al sistema por causa de precipitaciones, haciendo uso de metodologías prácticas como: la construcción de un bordillo perimetral, o bien, tapando la superficie de la biojardinera con plástico durante el evento.
- Realizar un balance hídrico al sistema para determinar porcentaje del agua entrante al sistema es absorbido por las plantas mediante la evapotranspiración, y analizar el comportamiento del sistema ante precipitaciones.
- Dejar en claro a los usuarios, en cuanto a operación y mantenimiento del sistema se refiere, la relación cercana que existe entre la eficiencia del sistema ante la eliminación de los contaminantes, y el mantenimiento adecuado para garantizar la operación óptima de la tecnología, y bajo este contexto, la eficiencia obtenida sea la esperada.
- Remover las plantas que se encuentren en los extremos de la Biojardinera para evitar la obstrucción por raíces en las tuberías de entrada y salida; y proporcionar.
- Brindar a los usuarios charlas de refrescamiento acerca del mantenimiento y operación de las biojardineras, en donde también, se aborde temática de los hábitos de higiene que generan aumento del contenido de contaminantes en el sistema: como orinar durante el baño.

- Evitar la cercanía de animales al sistema que puedan defecar sobre el material granular, ya que con las precipitaciones, el excremento es disuelto en las aguas del sistema y eleva el contenido de coliformes fecales.

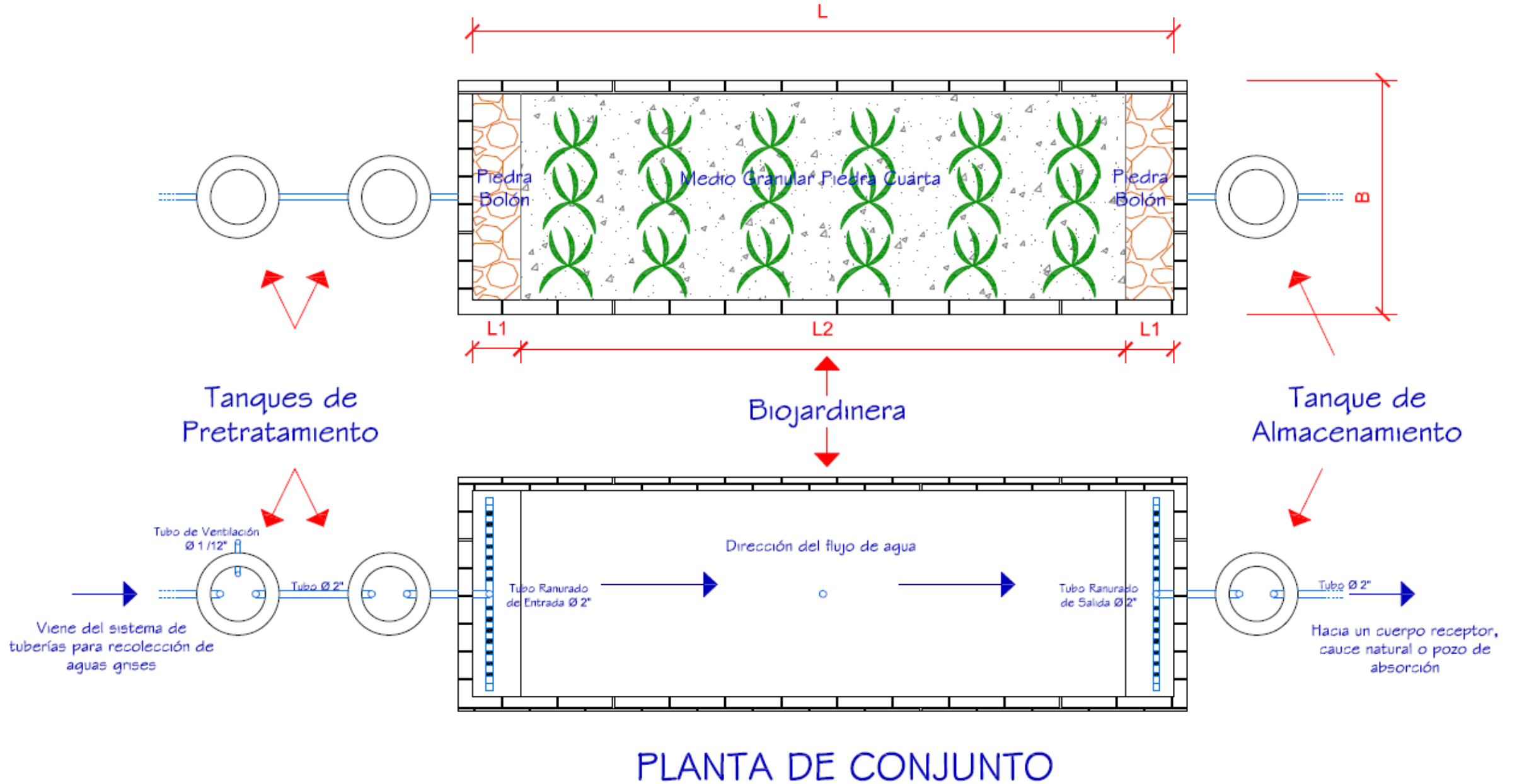
X. BIBLIOGRAFÍA

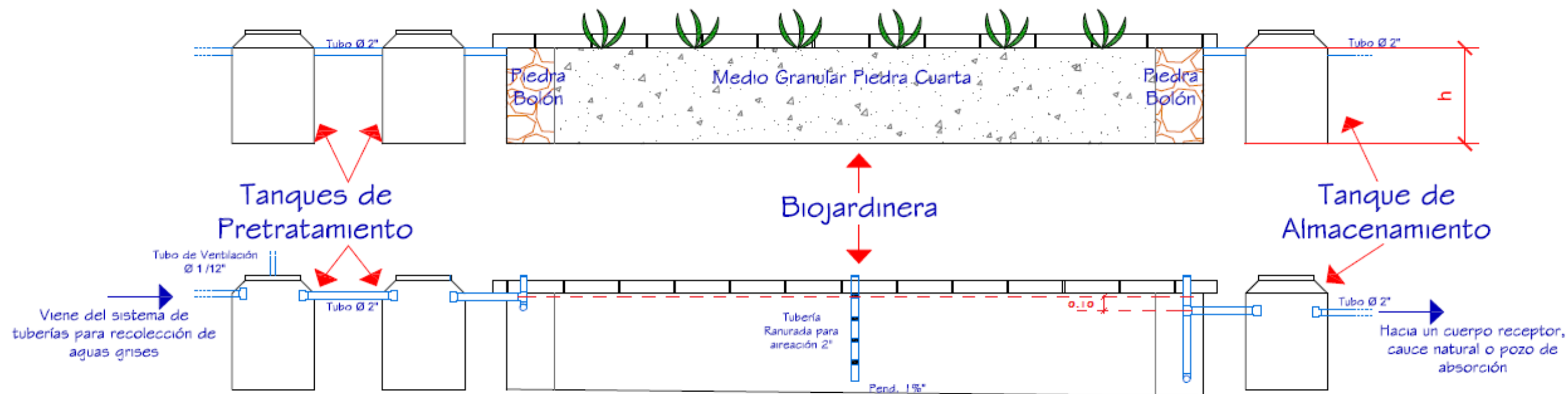
- Solís Calderón, C. (2011). *1er Curso de Taller sobre Construcción de Biojardinera “Creando Jardines para limpiar nuestras aguas”*. San José, Costa Rica: ACEPESA.
- Delís Neira, S. (2008). *Manual de Biojardineras*. Managua, Nicaragua: INAA, Departamento de Fiscalía Técnica.
- HABITAR. (2009) *“Habitar mi Barrio Libre de Charcas”*. Managua, Nicaragua: issue -2.
- Schutze, Carlos E. (2010) *Construye, Opera y Mantiene tu Biojardín*. Managua, Nicaragua: INAA, RASNIC.
- Rosales, E. (2005) *Biojardineras: Una alternativa natural para limpiar las aguas grises de nuestra casa*, Managua, Nicaragua: ASSUE
- Sánchez Rudin, A. (2012) *Sistematización Construcción de Biojardineras, Asentamiento Los Lagos, Conocido como Amagro en Arancibia, Miramar, Puntarenas*, ACEPESA.
- *Experiencias de Saneamiento Integral de Nicaragua, Grupo Impulsor de Saneamiento Integral*, GISI (2012).
- Ficha Técnica Municipal, Ciudad de San Marcos, departamento de Carazo.
- Moncada Corrales, S. (2011). *Evaluación de un diseño de Biojardinera de Flujo Superficial para el tratamiento de Aguas Grises*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Sapag Chain, N. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Bogotá D.C., Colombia: McGraw Hill Interamericana.

- “Sacar Provecho a la Basura”, Managua, Nicaragua: LA PRENSA, Edición del 20 de Noviembre, 2012).
- Delgado, H. (2010). *Biofiltros domiciliarios: Filtro Biológicos para la remoción de nutrientes de aguas grises*. Nicaragua: CONICYT.
- Hoffman, H/ Winker, M. “*Revisión Técnica de Humedales artificiales de flujo sub superficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas*”. Eschborn, Febrero 2011.
- Organización Mundial de la Salud. “*Proyecto PNUMA/ OMS/UNESCO/OMM sobre el monitoreo mundial de la calidad de agua*”
- Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados. (1995). *Decreto 33-95: Disposición para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias*. Managua, Nicaragua.

XI. ANEXOS

11.1 ANEXO 01: PLANTA DE CONJUNTO Y SECCIÓN PERFIL DEL SISTEMA





SECCIÓN PERFIL

Unidad	Ubicación	Ancho, mts	Largo, mts	Altura, mts
BJ001	B° 05 de Julio	1.20	2.50	0.70
BJ002	B° 05 de Julio	1.40	5.00	0.70
BJ003	B° Los Campos	1.50	5.10	0.70

11.2 ANEXO 02: ENCUESTAS REALIZADAS

ENCUESTA N° I “ENCUESTA SOCIECONÓMICA”

A. INFORMACIÓN BÁSICA DE LA LOCALIDAD

Encuestador (a): _____ No de encuesta: _____

Fecha de Entrevista: _____

Barrio: _____

B. INFORMACIÓN DE LA FAMILIA

1. Total de personas que residen en la vivienda: _____
2. Total de familias que residen en la vivienda: _____
3. ¿Cuántos miembros tiene su familia? _____
4. Número de personas por rango de edad:

Rango	F	M	Escolaridad
< 1			
1 - 12			
13 - 19			
20 - 35			
36 - 60			
> 60			

5. Personas que trabajan en su familia: _____
6. Aproximado de ingreso familiar: _____

C. INFORMACIÓN SOBRE LA VIVIENDA

1. Uso:

- | | |
|--|-------------------------|
| () Sólo vivienda | () Actividad comercial |
| () Vivienda y otra actividad productiva | () Otra |
| () Actividad Productiva de procesamiento (artesanía, alimentos) | |
| () Prestación de servicios (taller) | |

2. Tenencia de la propiedad

Propia () Alquilada () Otra (): _____

3. Servicios básicos

Luz eléctrica () Agua Potable () Teléfono ()

Letrina () Inodoro/Tanque Séptico ()

4. Apreciaciones del entrevistador

La vivienda pertenece a un nivel económico: Bajo () Medio () Alto ()

El material con que está construida la vivienda: _____

D. INFORMACIÓN SOBRE EL ABASTECIMIENTO DE AGUA

1. ¿Cuántos días a la semana dispone del servicio de agua potable? _____

2. ¿Cuántas horas al día dispone del servicio de agua potable? _____

E. INFORMACIÓN SOBRE EL SANEAMIENTO

1. ¿Considera importante un sistema de tratamiento para aguas grises?

SI () NO (), ¿Por qué?: _____

2. Ha escuchado acerca de algún sistema de tratamiento de aguas grises

SI () NO ()

3. ¿Conoce el sistema de Biojardinera?

SI () NO ()

4. ¿Estaría dispuesto a construir una biojardinera en su casa para el tratamiento de las aguas grises?

SI () NO (), ¿Por qué?: _____

ENCUESTA N°2

Nombre del entrevistado: _____

Fecha: _____

Ubicación: _____

Buenas días (tardes)

Somos estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería y nos encontramos realizando un estudio acerca del funcionamiento de las biojardineras. Le agradeceríamos si fuera tan amable de responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Cuántas personas habitan en su vivienda?

2. ¿De dónde provienen las aguas que se tratan en la biojardinera? (MARQUE LAS SIGUIENTES CATEGORÍAS)

_____ Cocina

_____ Ducha

_____ Lavamanos

_____ Pila

_____ Lavadora

_____ Tanque Séptico

_____ Tanque compostero

_____ Otros (Especifique): _____

3. ¿Hace cuánto tiempo utiliza la Biojardinera como sistema de tratamiento?

4. ¿Por qué motivo construyó la Biojardinera?

5. ¿Quién le recomendó la construcción de la Biojardinera?

6. A. ¿Le da algún uso a las aguas que salen de la biojardinera?

____ SI

____ NO, por qué? _____

(PASE A LA PREGUNTA 7A).

6. B. ¿Qué usos le ha dado?

7. A. ¿Ha usted tenido problemas con la biojardinera?

____ SI

____ NO, por qué? _____

(PASE A LA PREGUNTA 8ª).

7. B. ¿Cuál o cuáles problemas?

7. C ¿Cómo los ha resuelto?

8. A ¿Remueve usted las grasas flotantes y sólidos depositados en el fondo de las unidades de pretratamiento?

_____ SI

_____ NO, (PASE A LA PREGUNTA 9A).

8. B ¿Qué utiliza para hacerlo?

8. C ¿Cada cuánto lo hace?

8. D ¿Dónde deposita el material que extrae?

9. A En la Biojardinera, ¿corta o deshija usted las plantas sembradas?

_____ SI

_____ NO, (PASE A LA PREGUNTA 10A).

9. B ¿Cada cuánto lo hace?

10. A ¿Revisa usted si se deposita lodo o sólidos en la tubería de entrada?

_____ SI

_____ NO, (PASE A LA PREGUNTA 11).

10. B ¿Cada cuánto lo hace?

(SI EN LA PREGUNTA 8A O 9A LA RESPUESTA FUE NEGATIVA CONTINÚE CON LA ENCUESTA, POR EL CONTRARIO PASE A LA PREGUNTA 12A)

11. ¿Por qué razón no las realiza (MENCIONAR LA O LAS ACTIVIDADES ANTERIORES QUE NO REALIZA?)

_____ No considera necesario

_____ No tiene tiempo

_____ Le resulta molesto

_____ Lo olvida

_____ Otra, (Especifique): _____

En general, ¿Se siente satisfecho/a con el funcionamiento de la biojardinería?

_____ SI, ¿Por qué?: _____

_____ NO, ¿Por qué?: _____

11.3 ANEXO 03: TABLA DE RANGOS Y LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES, PROMEDIO DIARIOS SEGÚN EL ARTÍCULO 57 - DECRETO 33-95

PARAMETROS	RANGOS Y LIMITES MAXIMOS Y PERMISIBLES PROMEDIO DIARIO
PH	6.5 a 8.5
Conductividad Eléctrica (microohmos / cm)	200.0
DBO (mg/l)	120.0
DQO (mg/l)	200.0
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	120.0
Aluminio (mg/l)	5.0
Arsénico (mg/l)	0.1
Boro (mg/l)	1.0
Cadmio Total (mg/l)	0.0
Cianuros (mg/l)	0.0
Cobre (mg/l)	0.2
Cromo Total (mg/l)	0.1
Hierro (mg/l)	5.0
Fluoruros (mg/l)	3.0
Manganeso (mg/l)	0.2
Níquel (mg/l)	0.2
Plomo Total (mg/l)	5.0
Selenio (mg/l)	0.0
Zinc (mg/l)	2.0
Coliformes Fecales (cada 100ml)	1000.0
Huevos de Helmintos (cada 1000 ml)	1.0
Tasa de absorción de sodio (mg/l)	6.0

Fuente: Decreto 33-95



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1511-072

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELÉFONO
Evaluación de Afluente y Efluente de Aguas Grises Tratadas con Biojardinerías			UNI - RUPAP		8448-1904
ATENCIÓN:			CARGO	EMAIL	CÉLULAR
Francisco Portobanco / Osmil Guerrero			Estudiantes Civil	porta.alonso180790@gmail.com	8448-1904
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA	NÚMERO DE MUESTRAS
12/11/2015	12/11/2015	24/11/2015	25/11/2015	2249	Tres (3)
Fecha y Hora de Muestreo			11/11/2015; 3:30 PM		
Muestreado por			Francisco Portobanco / Osmil Guerrero		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			BJ 002		
Tipo de Muestra			Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación			Colonia 5 de Julio		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1511-0667		
METODO SM II EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Art. No. 23*
			BJ 002		
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	155.74		220
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	74.00		110
2540-D	Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	25.90		100
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	6.69		NE
4500-C	Fósforo Total	mg/l	0.55		NE
3500-C	Potasio	mg/l	2.99		NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. s: al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta.

SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


Ph.D. Leandro Parame Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1511-072

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio, Comunidad, Departamento		TELÉFONO
Evaluación de Afluente y Efluente de Aguas Grises Tratadas con Biojardinerías		UNI - RUPAP		8448-1904
ATENCIÓN:	CARGO	EMAIL		CÉLULAR
Francisco Portobanco / Osmil Guerrero	Estudiantes Civil	porta.alonso180790@gmail.com		8448-1904
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:		NUMERO DE MUESTRAS
12/11/2015	12/11/2015	24/11/2015	25/11/2015	2249
Fecha y Hora de Muestreo			11/11/2015; 4:30 PM	
Muestreado por			Francisco Portobanco / Osmil Guerrero	
Supervisor de Muestreo en Campo			NR	
Fuente			BJ 003	
Tipo de Muestra			Agua Residual Puntual	
Observaciones de Ubicación			Comarca Los Campos	
Coordenadas			NR	
Codificación PIENSA			LA-1511-0669	
METODO SM II EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Art. No. 23*
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	160.82	220
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	97.00	110
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	53.10	100
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	11.57	NE
4500-C	Fósforo Total	mg/l	0.38	NE
3500-C	Potasio	mg/l	3.27	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva, s al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta.
SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-85 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ph.D. Leandro Páramo Aguilar
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1511-072

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELÉFONO
Evaluación de Afluente y Efluente de Aguas Grises Tratadas con Biojardineros		UNI - RUPAP		8448-1904
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL	Celular
Francisco Portobanco / Osmil Guerrero		Estudiantes Civil	porta_alonso180790@gmail.com	8448-1904
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA
12/11/2015	12/11/2015	24/11/2015	25/11/2015	2249
Fecha y Hora de Muestreo		11/11/2015, 4:10 PM		
Muestreado por		Francisco Portobanco / Osmil Guerrero		
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		
Fuente		AAC 001		
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación		Colonia 5 de Julio		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1511-0668		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Art. No. 23*
			AAC 001	
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	521.32	220
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	336.00	110
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	144.70	100
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	7.84	NE
4500-C	Fósforo Total	mg/l	0.71	NE
3500-C	Potasio	mg/l	3.01	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. s al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta.

SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


P.D. Leandro Páez Aguirre
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-MB-1511-0130-1

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN		TELÉFONO
Evaluación de Afluente y Efluente de Aguas Grises Tratadas con Biojardinerías			UNI-RUPAP		NR
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Francisco Portobanco/Osmil Guerrero			Estudiante civil	porto_alonso160790@gmail.com	84481904
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS			NUMERO DE MUESTRAS
12/11/2015	12/11/2015	16/11/2015		16/11/2015	2249
Fecha y Hora de Muestreo			11/11/2015 3:30pm		
Muestreado por			Francisco Portobanco/Osmil Guerrero		
Supervisor de Muestreo en Campo			Francisco Portobanco/Osmil Guerrero		
Fuente			BJ 002		
Tipo de muestra			Agua Residual		
Observaciones de Ubicación			Colonia 5 de Julio		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1511-0887		
METODO SM U EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Rango o valor máximo permisible
			PUNTO DE MUESTREO 1		Arto. 22*
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	7.0*10 ⁵		≤5.0 * 10 ³

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Neg : Negativo, NR : No Reporta

Método Internacional Empleado: SM : Standard Methods, 21st. 2005

*Decreto No. 33-95.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-MB-1511-0130-3

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN		TELÉFONO
Evaluación de Afluente y Efluente de Aguas Grises Tratadas con Biojardinerías			UNI-RUPAP		NR
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Francisco Portobanco/Osmil Guerrero			Estudiante civil	porto.alonso180790@gmail.com	84481904
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS			
12/11/2015	12/11/2015	16/11/2015	16/11/2015	2249	Tres(3)
Fecha y Hora de Muestreo			11/11/2015 4:30pm		
Muestreado por			Francisco Portobanco/Osmil Guerrero		
Supervisor de Muestreo en Campo			Francisco Portobanco/Osmil Guerrero		
Fuente			BJ 003		
Tipo de muestra			Agua Residual		
Observaciones de Ubicación			Comarca "Los Campos"		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1511-0669		
METODO SM II EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Arto. 22*
			PUNTO DE MUESTREO 1		
0221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	3.5*10 ⁴		≤5.0 * 10 ³

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Neg : Negativo, NR : No Reporta

Método Internacional Empleado: SM : Standard Methods, 21st. 2005

*Decreto No. 33-95.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

[Firma]
COORDINACIÓN TÉCNICA
LABORATORIOS AMBIENTALES
PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-MB-1511-0130-2

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN		TELÉFONO	
Evaluación de Afluente y Efluente de Aguas Grises Tratadas con Biojardinerías		UNI-RUPAP		NR	
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR	
Francisco Portobanco/Osmil Guerrero		Estudiante civil	porto.alonso180790@gmail.com	84481904	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANÁLISIS	CADENA CUSTODIA	NÚMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANÁLISIS	FINAL DE ANÁLISIS			
12/11/2015	12/11/2015	16/11/2015	16/11/2015	2249	Tres(3)
Fecha y Hora de Muestreo		11/11/2015 4:10pm			
Muestreado por		Francisco Portobanco/Osmil Guerrero			
Supervisor de Muestreo en Campo		Francisco Portobanco/Osmil Guerrero			
Fuente		AAC 001			
Tipo de muestra		Agua Residual			
Observaciones de Ubicación		Colonia 5 de Julio			
Coordenadas		NR			
Codificación PIENSA		LA-1511-0888			
METODO SM / EPA	ENSAYO REALIZADO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACIÓN		Rango o valor máximo permisible
	PARAMETRO		PUNTO DE MUESTREO 2		
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	1.6*10 ³		Arto. 22*
					≤5.0 * 10 ³

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Neg : Negativo, NR : No Reporta

Método Internacional Empleado: SM : Standard Methods, 21st. 2005

*Decreto No. 33-95.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


PhD. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe

LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1512-073

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio, Comunidad, Departamento		TELÉFONO
Evaluación de Afluente y Efluente de Aguas Grises Tratadas con Biojardinerías		UNI - RUPAP		8748-8360
ATENCIÓN:	CARGO	EMAIL		CÉLULAR
Francisco Portobanco / Osmil Guerrero	Estudiantes Ing. Civil FTC- UNI	osmilgdear@gmail.com porto.alonso180790@gmail.com		8448-1904
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANÁLISIS	CADENA DE CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANÁLISIS:	FINAL DE ANÁLISIS:		NÚMERO DE MUESTRAS
23/11/2015	23/11/2015	01/12/2015	02/12/2015	2262
Fecha y Hora de Muestreo		23/11/2015: 1:53 PM		
Muestreado por		Francisco Portobanco / Osmil Guerrero		
Supervisor de Muestreo en Campo		Francisco Portobanco / Osmil Guerrero		
Fuente		BJ 002		
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación		NR		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1511-0705		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Art. No. 23*
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.09	6 - 10
2550-B	Temperatura	°C	28.20	50
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	126.31	220
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	71.00	110
2540-D	Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	21.80	100
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	10.45	NE
4500-C	Fósforo Total	mg/l	0.653	NE
3500-C	Potasio	mg/l	1.73	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva, s al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta.

SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-96 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1512-073

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELÉFONO
Evaluación de Afluente y Efluente de Aguas Grises Tratadas con Biojardinerías		UNI - RUPAP		8748-8360
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL	CÉLULAR
Francisco Portobanco / Osmil Guerrero		Estudiantes Ing. Civil FTC- UNI	osmigdea@gmail.com porto.alonso180790@gmail.com	8448-1904
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA
23/11/2015	23/11/2015	01/12/2015	02/12/2015	2262
Fecha y Hora de Muestreo		23/11/2015; 2:36 PM		
Muestreado por		Francisco Portobanco / Osmil Guerrero		
Supervisor de Muestreo en Campo		Francisco Portobanco / Osmil Guerrero		
Fuente		BJ 003		
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación		NR		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1511-0704		
METODO SM II EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Rango o valor máximo permisible
			BJ 003	Art. No. 23*
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.57	6 - 9
2550-B	Temperatura	°C	25.30	50
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	70.68	220
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	66.00	110
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	10.90	100
4500-B	Nitrógeno Total	mg/l	1.30	NE
4500-C	Fósforo Total	mg/l	1.087	NE
3500-C	Potasio	mg/l	1.75	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva, s al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta.

SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-MB-1511-0134-2

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN		TELÉFONO
Evaluación de Afluente y Efluente de Aguas Grises Tratadas con Biojardinerías			UNI-RUPAP		NR
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Francisco Portobanco/Osmil Guerrero			Estudiantes Ingeniería Civil	porto.alonso190799@gmail.com	87488360
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NÚMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS			
23/11/2015	23/11/2015	27/11/2015	27/11/2015	2262	Dos(2)
Fecha y Hora de Muestreo			23/11/2015 1:53pm		
Muestreado por			Francisco Portobanco/Osmil Guerrero		
Supervisor de Muestreo en Campo			Francisco Portobanco/Osmil Guerrero		
Fuente			BJ 002		
Tipo de muestra			Agua Residual		
Observaciones de Ubicación			NR		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1511-0705		
METODO SM / EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Arto. 22*
			PUNTO DE MUESTREO 2		
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	7.9*10 ⁴		≤5.0 * 10 ⁴

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Neg : Negativo, NR : No Reporta

Método Internacional Empleado: SM : Standard Methods, 21st. 2005

*Decreto No. 33-85.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaro que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-MB-1511-0134-1

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN		TELÉFONO
Evaluación de Afluente y Efluente de Aguas Grises Tratadas con Biojardíneras			UNI-RUPAP		NR
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Francisco Portobanco/Osmil Guerrero			Estudiantes Ingeniería Civil	portobanco130790@unin.edu.ni	87488360
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NÚMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS			
23/11/2015	23/11/2015	27/11/2015	27/11/2015	2262	Dos(2)
Fecha y Hora de Muestreo			23/11/2015 2:36pm		
Muestreado por			Francisco Portobanco/Osmil Guerrero		
Supervisor de Muestreo en Campo			Francisco Portobanco/Osmil Guerrero		
Fuente			BJ 003		
Tipo de muestra			Agua Residual		
Observaciones de Ubicación			NR		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1511-0704		
METODO SM # EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Rango o valor máximo permisible
			PUNTO DE MUESTREO 1		
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	7.9*10 ⁴		Arto. 22*
					≤5.0 * 10 ³

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Neg : Negativo, NR : No Reporta

Método Internacional Empleado: SM : Standard Methods, 21st. 2005

*Decreto No. 33-95.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


BHD. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1602-010

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio, Comarca(s), Departamento		TELÉFONO
Evaluación de Afluente y Efluente de Aguas Grises Tratadas con Biojardíneros		UNI - RUPAP		8748-8360
ATENCIÓN:	CARGO	EMAIL	CELULAR	
Francisco Portobanco / Osmil Guerrero	Estudiantes Ing. Civil FTC- UNI	osmildea@gmail.com porto.alonso180790@gmail.com	8748-8360	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:		NUMERO DE MUESTRAS
17/02/2016	17/02/2016	17/02/2016	22/02/2016	2319
Fecha y Hora de Muestras		17/02/2016, 12:25 PM		
Muestreado por		Francisco Portobanco / Osmil Guerrero		
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		
Fuente		BJ 002 Efluente		
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación		NR		
Coordenadas		NR		
Certificación PIENSA		LA-1602-0091		
METODO SM y EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACIÓN	Art. No. 23*
4500-O	Oxígeno Disuelto	mg/l	2.20	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectivas, s al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta.

SM: Método Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


Profr. Leonardo Palomo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

LABORATORIO AMBIENTAL

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1602-010

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELÉFONO
Evaluación de Afluente y Efluente de Aguas Grises Tratadas con Biojardíneros		UNI - RUPAP		8748-8360
ATENCIÓN:	CARGO	EMAIL	CÓDIGO	
Francisco Portobanco / Osmil Guerrero	Estudiantes Ing. Civil FTC- UNI	osmigdea@gmail.com porto.alonso180790@gmail.com	8748-8360	
FICHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA
17/02/2016	17/02/2016	17/02/2016	22/02/2016	2319
Fecha y Hora de Muestreo		17/02/2016; 12:15 PM		
Muestreado por		Francisco Portobanco / Osmil Guerrero		
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		
Fuente		BJ 001 Efluente		
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación		NR		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1602-0090		
METODO SM / EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Art. No. 23*
4500-O	Óxígeno Disuelto	mg/l	0.60	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva, y al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta.

SM: Método Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por El Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


ROLANDO PARRA AGUILERA
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Los Humedales Artificiales o Biojardineras: Una alternativa para el tratamiento de aguas grises

¿QUÉ SON LAS BIOJARDINERAS?

Las Biojardineras (o Humedales Artificiales) son unidades para el tratamiento de aguas residuales, principalmente las que provienen de una vivienda, o mejor conocidas como aguas grises, aunque también se usan en proyectos de dimensiones mayores como comunidades, residenciales, industrias u hoteles.

Las Biojardineras se utilizan como un segundo paso de tratamiento, después de haberle quitado a las aguas los contaminantes mayores y las grasas. Son "maceteras" con piedras, ya que las plantas ubicadas en ellas se siembran sobre piedras y ambos elementos son los responsables de limpiar el agua. El agua ya tratada que se obtiene al final de este proceso no es completamente pura, pero tendrá una buena calidad como para poder ser utilizada en otras actividades, tales como: riego de jardines y áreas verdes, riego de huertos familiares, lo cual es especialmente especial durante la época Seca.

Si el agua no es ocupada para riego, podría dejarse correr a través de tuberías o dirigirla hacia un curso natural de agua como un río. Así se reduciría de manera considerable la contaminación al ambiente, exactamente lo opuesto de lo que sucede en la actualidad.



OBJETIVO GENERAL

Promover el uso de Biojardineras (Humedales Artificiales) como tecnología social, económicamente viable y con una alta eficiencia en el tratamiento de aguas grises.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar criterios técnicos para el diseño y construcción de una unidad de biojardineras.
- Demostrar la viabilidad técnica y económica de las biojardineras como tecnología de tratamiento de aguas grises.

CONSTRUCCIÓN

- Delimitar la longitud, el ancho y profundidad de la biojardineria.
- Se nivela el terreno a partir de 4 estacas, una en cada esquina.
- Ya nivelado el terreno se prepara para la excavación (0.70 m).
- Se impermeabiliza el terreno con plástico si el terreno no es arcilloso, luego se protege con Sacos para evitar la ruptura del plástico por las piedras.
- Se inicia la colocación en la parte superior un tubo con perforaciones en lo ancho para distribuir el agua que viene de los recipientes de tratamiento primario.
- Se coloca en el otro extremo un tubo similar al de la entrada sólo que este se ubica en la parte inferior el cual capta el agua ya tratada por la biojardineria.
- Se divide la biojardineria en dos tramos cortos en un tramo central largo.
- Se colocan en los tramos cortos piedras gruesas y encima de éstas se apoyará la tubería y en el central se rellena de piedras finas y arena. Se eligen plantas ornamentales que sean autóctonas de ambientes acuáticos para así permitir una buena filtración del agua.

- En el tratamiento primario se le coloca un tubo que ventile los gases a una altura por encima del techo de la casa.
- La descarga puede almacenarse en depósitos o simplemente infiltrarse nuevamente al suelo mediante zanjas o a través de pozos de infiltración, evitando la formación de charcos.

VENTAJAS

- Es un sistema muy simple, donde el agua fluye por gravedad y puede funcionar sin necesidad de equipos de bombeo.
- Al funcionar como una jardineria, proporciona una solución agradable, de belleza natural, que a la vez mejora la calidad del agua antes de regresarla a la naturaleza.
- Las biojardineras son utilizadas para el tratamiento de todas las aguas grises (aquellas que son provenientes en su mayoría del uso doméstico: lavaderos, pantrys, baños, etc.) salientes de una vivienda.
- Las biojardineras ayudan a la conservación del medio ambiente, brindando la posibilidad del reúso de las aguas tratadas para riego de áreas de cultivo, por ejemplo, huertos familiares.



DESVENTAJAS

- Se requiere de un tiempo prudencial para que las plantas se adapten al medio.
- Después de un tiempo las rocas empiezan a mostrarse en un estado colmatado que no es más que la progresiva saturación de los poros existentes entre las mismas.
- Se requiere de un área amplia para su construcción, que no siempre está disponible.
- Es necesario dar mantenimiento continuo al sistema, para que éste funcione con una máxima eficiencia.

MANTENIMIENTO

- La limpieza de cada tanque de pretratamiento debe realizarse al menos cada 7 días para evitar que éstos se saturen.
- Las tuberías deben ser inspeccionadas semanalmente para evitar algunas obstrucciones en el transcurso del agua.
- Las plantas en la Biojardinería deben tener un cuidado especial.
- Si a medida que la biojardinería funciona se dan problemas en el flujo del agua produciéndose charcos, significa que hay zonas atascadas con sólidos por lo que se tiene que extraer las rocas y es necesario hacer un lavado de todas las rocas grandes y la grava que sirve como material filtrante.

AUTORIDADES:

- Dr. Ing. Óscar Gutiérrez Somarriba
Decano FTC
- Dr. Ing. Efraín Chamorro
Secretario Académico FTC

INTEGRANTES:

- Br. Osmil Belarmino Guerrero Guerrero
No. Carnet: 2008 – 23274
- Br. Francisco José Portobanco Alonso
No. Carnet: 2008 – 23481

TUTOR:

- Msc. Ing. Mario Francisco Castellón Zelaya
Profesor Titular Departamento de Hidráulica
FTC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA



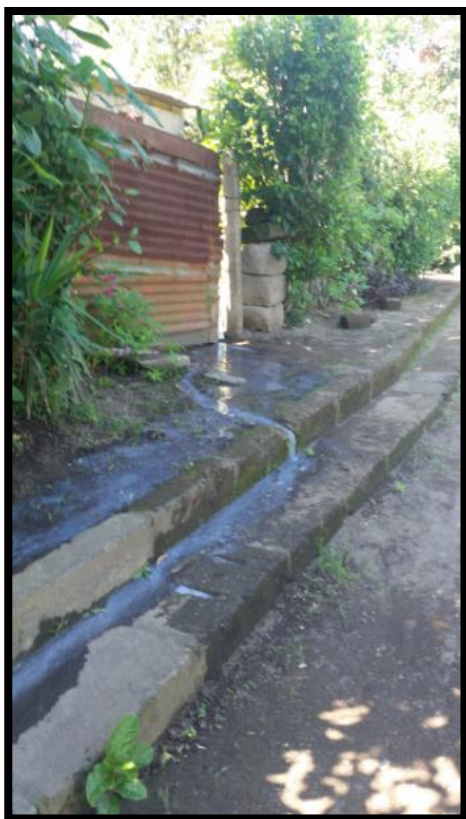
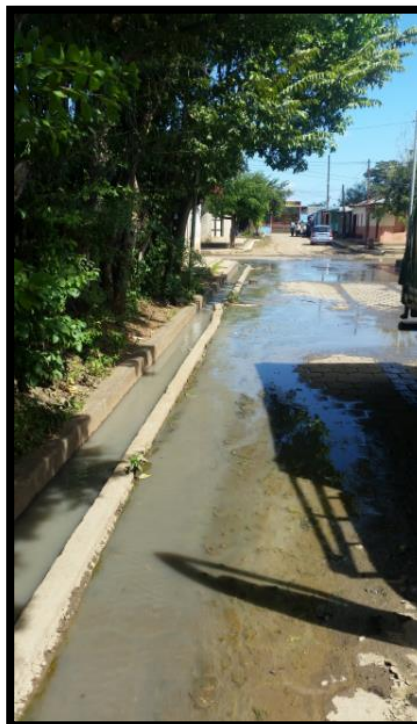
**FERIA TECNOLÓGICA TECNO UNI
2015**

***"USO DE LAS BIOJARDINERAS
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
GRISES"***



02 de diciembre de 2015

11.6 ANEXO 06: FOTOGRAFÍAS DE LA PROBLEMÁTICA EN CUESTIÓN



11.7 ANEXO 07: PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN DE FOSA SÉPTICA

FOSA SEPTICA a:3.25 X b:1.25 X h:2.5 MTS	U/M	CANT.	COSTOS UNITARIOS				TOTAL	
			MATERIALES	MANO DE OBRA	EQUIPO	SUB-CONTRATO	UNITARIO	TOTAL
Trazo y nivelación topográfica	M2	5.25	-	8.00	8.00	-	16.00	84.00
Excavación estructural, acarreo y retiro de material sobrante fuera del proyecto.	M3	15.75	-	150.00	-	-	150.00	2,362.50
Formaleta de contacto	M2	30.00	150.00	40.00	5.00	-	195.00	5,850.00
Relleno manual con material del sitio	M3	4.00	-	150.00	-	-	150.00	600.00
Suministro y colocación de acero de refuerzo No. 3 a cada 0,25 ambas direcciones, en losa de fondo, paredes y viga perimetral, incluye habilitado y armado, alambre No. 18 para amarres, ganchos y traslapes.	Lbs	1,392.93	12.00	5.00	0.50	-	17.50	24,376.28
Concreto de 3000 PSI en paredes, viga y losa	M3	4.61	2,900.00	850.00	350.00	-	4,100.00	18,885.63
Sistema de tuberías PVC de 4" (niples y codos y tee)	GBL	1.00	1,200.00	850.00	200.00	-	2,250.00	2,250.00
Sistema de tuberías de HG, incluye 2llaves de gaveta de 2"	GBL	1.00	1,500.00	1,200.00	250.00	-	2,950.00	2,950.00
Piqueteo de Paredes	M2	48.54	-	2.00	-	-	2.00	97.08
Repello corriente de paredes	M2	48.54	45.00	70.00	10.00	-	125.00	6,067.19
Fino Pizarra en paredes	M2	48.54	30.00	50.00	10.00	-	90.00	4,368.38
							TOTAL	67,891.04

11.8 ANEXO 08: MATRICES DE ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

**11.9 ANEXO 09: MANUAL TÉCNICO DE CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
BIOJARDINERAS.**